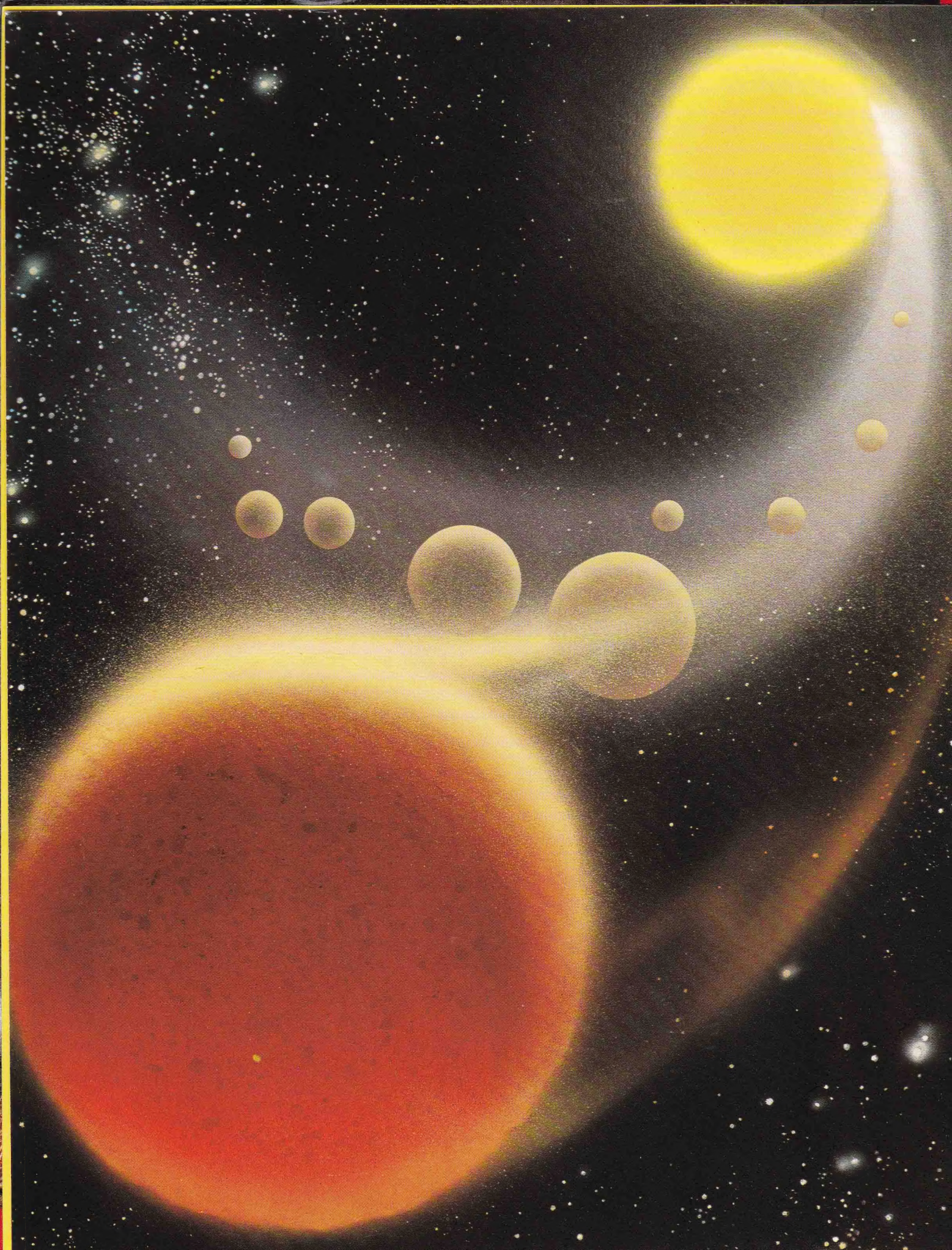
Die Geheimnisse der Urzeit:

DER URSPRUNG DES LEBENS



Die Geheimnisse der Urzeit

Herausgegeben von den Fachredaktionen des Bibliographischen Instituts

Band 1

DER URSPRUNG DES LEBENS

Bibliographisches Institut
Mannheim/Wien/Zürich

Die Geheimnisse der Urzeit

Band 1: Der Ursprung des Lebens
Band 2: Das Leben im Meer
Band 3: Amphibien und Riesensaurier
Band 4: Säugetiere und Urmenschen
Band 5: Die Morgendämmerung der Kultur

Die Originalausgabe dieses in mehreren Sprachen veröffentlichten Werkes umfaßt 20 Bände und erscheint unter dem Titel
Il pianeta dell'uomo
im Verlag Arnoldo Mondadori Editore, Verona.
Herausgeber: Mario Andreose
Redaktion und Bildbeschaffung: Margherita Forestan und Fabrizio Tolu
Graphische Gestaltung: Maurizio Turazzi
Layout: Franco Morati

Die Übersetzung dieses Bandes besorgten Inge Nissen und Günter Seib unter Mitwirkung von Dagmar Aust

---

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Die Geheimnisse der Urzeit / hrsg. von d. Fachred. d. Bibliograph. Inst. Hrsg. [d. Orig.-Ausg.]: Mario Andreose. – Mannheim, Wien, Zürich: Bibliographisches Institut.
Einheitssacht.: Il pianeta dell'uomo (dt.)
NE: Andreose, Mario [Hrsg.]; HST

Bd. 1. → Der Ursprung des Lebens
Der Ursprung des Lebens. – Mannheim, Wien, Zürich: Bibliographisches Institut, 1977.
(Die Geheimnisse der Urzeit; Bd. 1)
ISBN 3-411-01801-1

Alle Rechte vorbehalten.
Nachdruck, auch auszugsweise, nicht gestattet
© 1975 Europa Verlag
Deutsche Übersetzung © 1977 Bibliographisches Institut AG, Zürich
Satz: Bibliographisches Institut AG, Mannheim, und Beltz-Druck, Hemsbach (Photosatz Linotron 505TC)
Gesamtherstellung: Arnoldo Mondadori Editore, Verona
Printed in Italy
ISBN 3-411-01801-1

Inhalt

Die Erde, der Mond, die Planeten 5

Das Universum der Sterne und der Milchstraßen 29

Wie das Universum, die Galaxien und die Sterne entstanden 47

Das Geheimnis der Geburt der Erde wird gelöst: Wie war es am Anfang wirklich? 63

Die frühen Entwicklungsstadien der Erde 83

Die Wandlungen der Urerde 95

Die Erde bereitet sich auf das große Ereignis vor: das Leben 109

Das Gesetz von Zeit und Zufall 133

Von der primitiven Atmosphäre bis zu den ersten lebenden Molekülen 141

Von den freien zu den verketteten Molekülen 163

Von der Molekülkette zum Lebewesen 175

Die ersten lebenden Zellen 189

Die Mechanismen des Lebens 225

Primitive und differenziertere Zellen 239

Bibliographie 261

Bildquellennachweis 263

Register 265

Die Erde, der Mond, die Planeten

Die Erde geht am Horizont auf

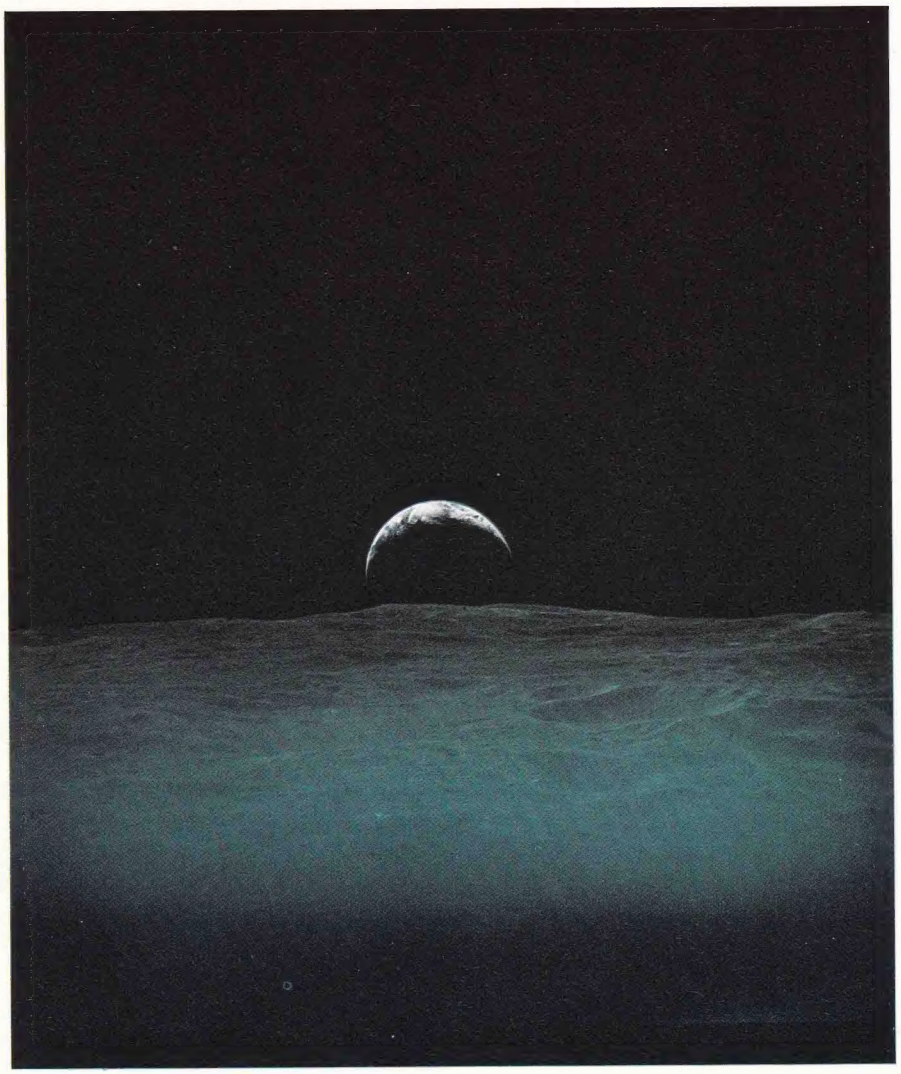
Auf ihren denkwürdigen Reisen zum Mond erlebten die Apollo-Astronauten immer wieder, was sie für den schönsten und bewegendsten Anblick bei ihrem Flug hielten: die Verwandlung der scheinbar flachen Erde in einen Himmelskörper, einen Planeten. Während der ohnehin schon ferne Horizont zunehmend ferner rückte, wölbte sich die Erde in einer immer schärfer akzentuierten Kurvenform. Die Umrisse ganzer Kontinente wurden sichtbar, umflossen von dem intensiven Blau der Ozeane und zum Teil verdeckt durch die weißen und grauen Wirbel der Wolkenfelder. Schließlich verschwand der Horizont völlig, und die Astronauten waren von der leeren Schwärze des Raumes umgeben. Aufgehängt in dieser Unendlichkeit, war die Erde jetzt eine ungeheure Kugel, leuchtend und in wechselnden Farben.

Von diesem leuchtenden Planeten strömte das Licht über seinen öden Satelliten, den Mond, während die Astronauten dort ihre ersten Spaziergänge machten. Von dem Kommandoteil ihres Raumschiffs aus, das den Mond umkreiste, sahen die Kosmonauten, wie die Erde auf- und unterging hinter dem kahlen Horizont einer Landschaft, die durch tiefe Krater gekennzeichnet war. Für die Apollo-Besatzungen war die Erde – für kurze Zeit – wirklich ihr Mond: viel größer jedoch, viel farbenprächtiger und viel schöner als der Satellit, der ihre Nächte zu Hause erhellte.

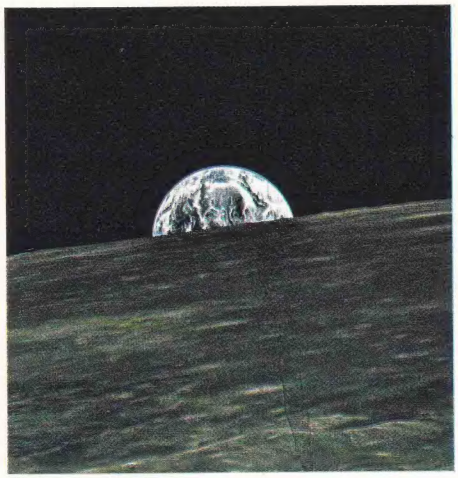
Die Aufnahmen, die auf diesen Seiten abgebildet sind, vermitteln einen Eindruck von dem einmaligen Anblick der Erde und ihres Mondes aus dem Fenster eines Raumschiffs. Die Astronauten berichten, daß sie von diesem Anblick tief gerührt waren; denn er unterschied sich so außerordentlich von den gewohnten irdischen Perspektiven. Ein Teil ihrer Erregung rührte gewiß daher, daß sie wußten, sie waren auf der Suche nach der Lösung Jahrtausende alter Rätsel – der Frage nach dem Ursprung unseres Planeten und des Universums, in dem er sich bewegt. Obwohl die Wissenschaft von einer befriedigenden Antwort noch sehr weit entfernt ist, erreichen uns heute bereits aus verschiedenen Quellen eine Reihe von Daten, die den Weltraumforschern unserer Tage weiterhelfen. Es wird nun möglich, vage Vermutungen zu bestätigen oder als falsch zu widerlegen und die Theorien über die Anfänge zu

Diese Aufnahme von Apollo 10 aus dem Jahre 1969 zeigt die Erde als eine riesige, scheinbar im Weltraum aufgehängte Kugel. Auf der rechten Kugelhälfte sieht man die Westküste Nordamerikas mit der kalifornischen Halbinsel. Die Erdatmosphäre scheint zum großen Teil von Wolkenbildungen „überflossen" zu sein.

Für die Astronauten, die eine Zeitlang auf unserem Satelliten verbrachten, sah die Erde wie ein Mond aus: Die eine Hälfte lag im Sonnenlicht, die andere im Schatten. Hier sieht man die Erde nur als dünne Sichel, da aus der Perspektive der Astronauten ihr größerer Teil im Schatten lag. Diese Aufnahme wurde von Apollo 12 im Jahre 1969 gemacht.



Die Erde ist ein Planet. Hier sehen wir, wie sie über der Mondlandschaft „aufgeht". Dies ähnelt dem Mondaufgang über dem Erdhorizont. Fotografiert von Apollo 10, 1969.

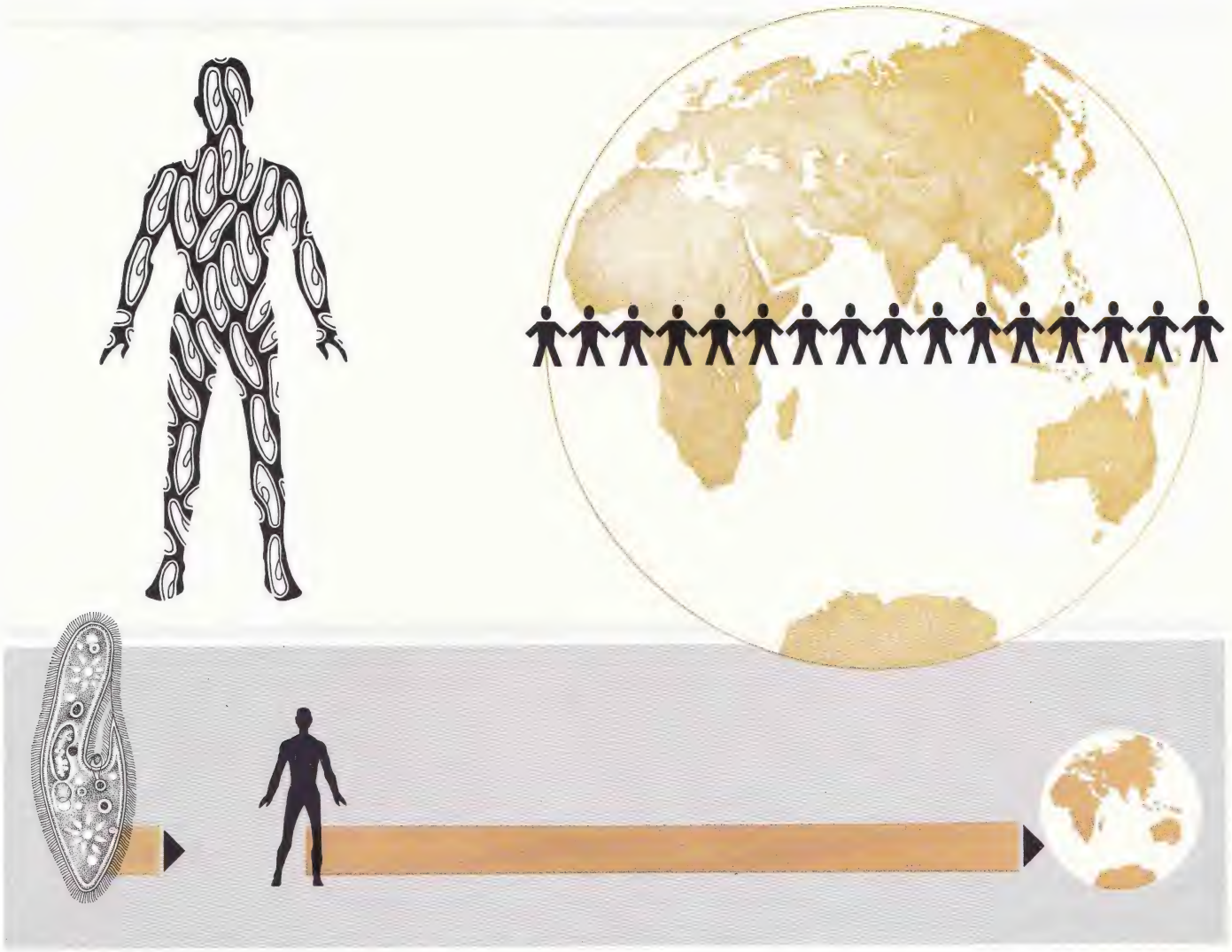


verifizieren (oder auch nicht) – Anfänge, die so weit zurückliegen, daß sie unser normales Zeitgefühl in Verwirrung bringen.

Diese weit zurückliegenden Ereignisse, Äonen vor der Entstehung von Leben auf der Erde, sind ein Hauptthema dieses Buches. Um die Theorien der Wissenschaftler darüber zu verstehen, muß man zuerst begreifen, wie die Welt und das Universum, von dem die Erde nur ein winziger Bruchteil ist, heute beschaffen sind. Wir werden also zunächst in unserer Phantasie zwei Reisen machen müssen, eine hinab zum Zentrum der Erde, die andere von der Erde weg, dorthin, wo das Universum endet – oder nicht endet.

Die Proportionen der Erde

In uralten Zeiten glaubte der Mensch, die Erde sei eine riesige, feste Ebene, hier und da von Bergketten gekräuselt, und der Himmel ruhe auf dieser Ebene wie eine Kuppel; hoch oben in diesem Kuppelgewölbe würden sich die Sonne und die Sterne bewegen. Die Erde und das Kuppelgewölbe zusammen bildeten nach dieser Vorstellung das ganze



Universum, und selbstverständlich war die Erde dessen wesentlichster Teil. Manche Völker gaben dieser Vorstellung vom Universum eine religiöse oder mythologische Deutung. Im alten Ägypten z. B. hielt man die verschiedenen Teile des Universums für Gottheiten. Auf Papyrusrollen und Denkmälern wird der Himmel als Göttin dargestellt, die sich über einen ruhenden, die Erde verkörpernden Gott neigt.

Diese Vorstellung von einer flachen Erde und einer himmlischen Kuppel wurde Jahrhunderte hindurch nicht angezweifelt. Das ist nicht weiter erstaunlich, wenn man bedenkt, daß frühere Beobachter ganz und gar auf das Zeugnis ihrer Augen angewiesen waren. Ihr Universum war auf das, was sie um sich herum und über sich sehen konnten, beschränkt. Aber ginge es uns modernen Menschen ohne die Errungenschaften der Technik denn viel anders? Würden wir denn das Verhältnis der Erde zu einem Kosmos, in dem selbst die größten Planeten kaum mehr als Atome sind, richtiger einschätzen können, wenn wir nicht die vielen Instrumente hätten, die die Reichweite unserer Sinnesorgane vergrößern?

Obwohl die Erde uns heute klein vorkommt, bleiben im Vergleich dazu die menschlichen Maße winzig. Seiner Größe nach ist der Mensch den nur mikroskopisch sichtbaren Lebewesen (als Phantasiegebilde oben links dargestellt) viel näher als der Erde (Abb. oben rechts). Um die Größe eines Menschen abzuschätzen, benötigten wir nur einige Zehntausend solch kleiner Lebewesen auf einem Haufen. Würden wir aber versuchen, den Durchmesser der Erde aus Menschen herzustellen, müßten wir die Körpergröße des Menschen mit 7 500 000 multiplizieren (Abb. unten).

Der größte Mensch ist wie eine Mikrobe auf einem riesigen Wetterballon, verglichen mit seinem Planeten, der einen Durchmesser von rund 12 700 Kilometern hat. Dies wiederum ist nicht viel im Vergleich mit dem Durchmesser der Sonne, der etwa 100mal größer ist. Wie wir sehen werden, sind Erde, Sonne und alle anderen Planeten unseres Sonnensystems nur kleine Teile eines unendlich kleinen Teils des gesamten Universums. Einem Menschen hier unten auf der Erde muß es schwerfallen, sich auf solche Entfernungen einzustellen.

Wie sieht es im Erdinnern aus?

Für den primitiven Menschen der Urzeit muß es ganz natürlich gewesen sein, sich vorzustellen, daß der Erdboden, auf dem er ging, massiv ist, wie tief oder wie wenig tief diese massive Zone auch immer hinabreichen mochte. Später erfuhr der Mensch dann, daß sogar der Meeresboden fest ist. Allerdings gab es, über die Erde verstreut, eine Anzahl feuriger Berge: Vulkane, aus denen geschmolzene Materie strömte, umgeben von Dampfwolken und Felsbrocken und begleitet von explosiven Entladungen giftiger Gase. In manchen Gegenden spien Geysire Wasser und Dampf, beides kochend heiß. An anderen Orten sprudelten heiße Quellen aus unsichtbaren Tiefen. Solche Erscheinungen beängstigten und beunruhigten den Menschen, und man grübelte über die unbekannten Kräfte in der Tiefe der Erde nach.

Mythen und Sagen erzählen von Feuergöttern, männlichen und weiblichen, die tief im Erdinneren hausten. In der griechischen Mythologie wird berichtet, wie im Kampf zwischen den olympischen Göttern und den Riesen, die einst die Welt beherrschten, Zeus den Giganten Enkeladus unter dem Berg Ätna begrub, um ihn niederzuhalten. Immer wenn der Riese sich wand, um sich zu befreien, erbebte der Vulkan. In einer anderen Darstellung ist der Ätna die Werkstatt von Hephäst, dem griechischen Gott des Feuers.

Griechische und römische Philosophen versuchten die Entstehung der Vulkane und ähnlicher Phänomene auf natürliche Ursachen zurückzuführen. Platon stellte die Theorie auf, die Quelle der Lavaströme sei ein unterirdischer Fluß von geschmolzener Materie und die Vulkanausbrüche würden durch Luft verursacht, die unter großem Druck in der Erde eingeschlossen sei. Aristoteles vermutete, daß es eine Verbindung zwischen Vulkanen und Erdbeben gebe. Auch er sprach von der Kraft der „angestauten Winde" tief unten in der Erde, die dort in Flammen aufgingen und durch Vulkanschlote hinaus in die Luft schössen.

Die vielleicht lebhafteste und detaillierteste Beschreibung vulkanischer Tätigkeit im klassischen Zeitalter findet man in dem philosophischen Lehrgedicht „Die Natur der Dinge" des altrömischen Dichters Lukrez. Dieser beschreibt dort den Berg Ätna als ein System von Waben, voll basaltischer Höhlen und Gänge, die sich zum Meer hin öffnen. Durch diese Gänge strömten Wind und Wasser bis zum Herzen des Bergs. Von dort her würden sie zusammen mit Flammen, Steinen und Sand ins Freie geschleudert.

Jahrhundertelang gab es keine bessere Beschreibung für das, was tief unten in der Erde stattfindet. Tatsächlich hat die Wissenschaft erst in den letzten Jahrzehnten begonnen, ihre Erkenntnisse Stück für Stück zu einem System zusammenzufügen. So haben wir erst jetzt eine zusammenhängende Theorie über die Struktur der Erde von der Kruste bis zum Kern. Und sogar jetzt noch ist unser gesamtes Material eher Indiz als

Nachtaufnahme des Nordostkraters auf dem Berg Ätna beim Ausbruch von 1971. Ein ungeheures Feuer scheint im Inneren des Bergs zu brennen. Zu allen Zeiten haben Vulkane den Glauben genährt, es gäbe tief unten in der Erde Feuer.

Austritt von Dampf aus Geysiren in Heimaey, Island. Die Vorstellung von einem Feuer im Mittelpunkt der Erde wurde durch kochendheiße Dampfausströmungen durch Spalten in der Erdoberfläche bekräftigt.

Beweis, da selbst die tiefsten Bohrlöcher lediglich einige Tausend Meter Erdoberfläche durchdrungen haben. Geologen haben eine Anzahl chemischer und physikalischer Techniken entwickelt, um die Beschaffenheit jener Erdschichten zu bestimmen, die sich unter der sichtbaren Erdkruste befinden. Die Seismologie, diejenige Wissenschaft, die sich mit der Entstehung, Ausbreitung und Auswirkung von Erdbeben befaßt, war in dieser Hinsicht besonders erfolgreich.

Die meisten *Erdbeben* werden durch eine plötzliche Verschiebung von großen Gesteinsmassen innerhalb der Erdkruste verursacht. Selbst die härtesten Stoffe besitzen eine gewisse Elastizität und vermögen dadurch einer starken Belastung zu widerstehen. Läßt nun aber der Druck nach einer bestimmten Zeit nicht nach oder sind die Kräfte, die das Material verformen, stärker, als seine Elastizität es zuläßt, dann kommt es zu einem Bruch. Die Brüche und Verwerfungen in den Felslagen unter der Erdoberfläche bringen das massive Gestein tonnenweise ins Rutschen. Dabei wird eine große Menge Energie frei, die sich über eine lange Periode des Drucks aufgestaut hatte. Ein Teil dieser Energie breitet sich vom Zentrum des Bebens her in Form von Stoßwellen aus. Da Felsen im allgemeinen ziemlich unnachgiebig sind, pflanzen sich nun die Stoßwellen von einem unterirdischen Herd her sehr schnell zu anderen Felsen fort. Solange die Energie der Stoßwellen vorhält, bewegen sich diese unterirdischen Wellen über große Entfer-

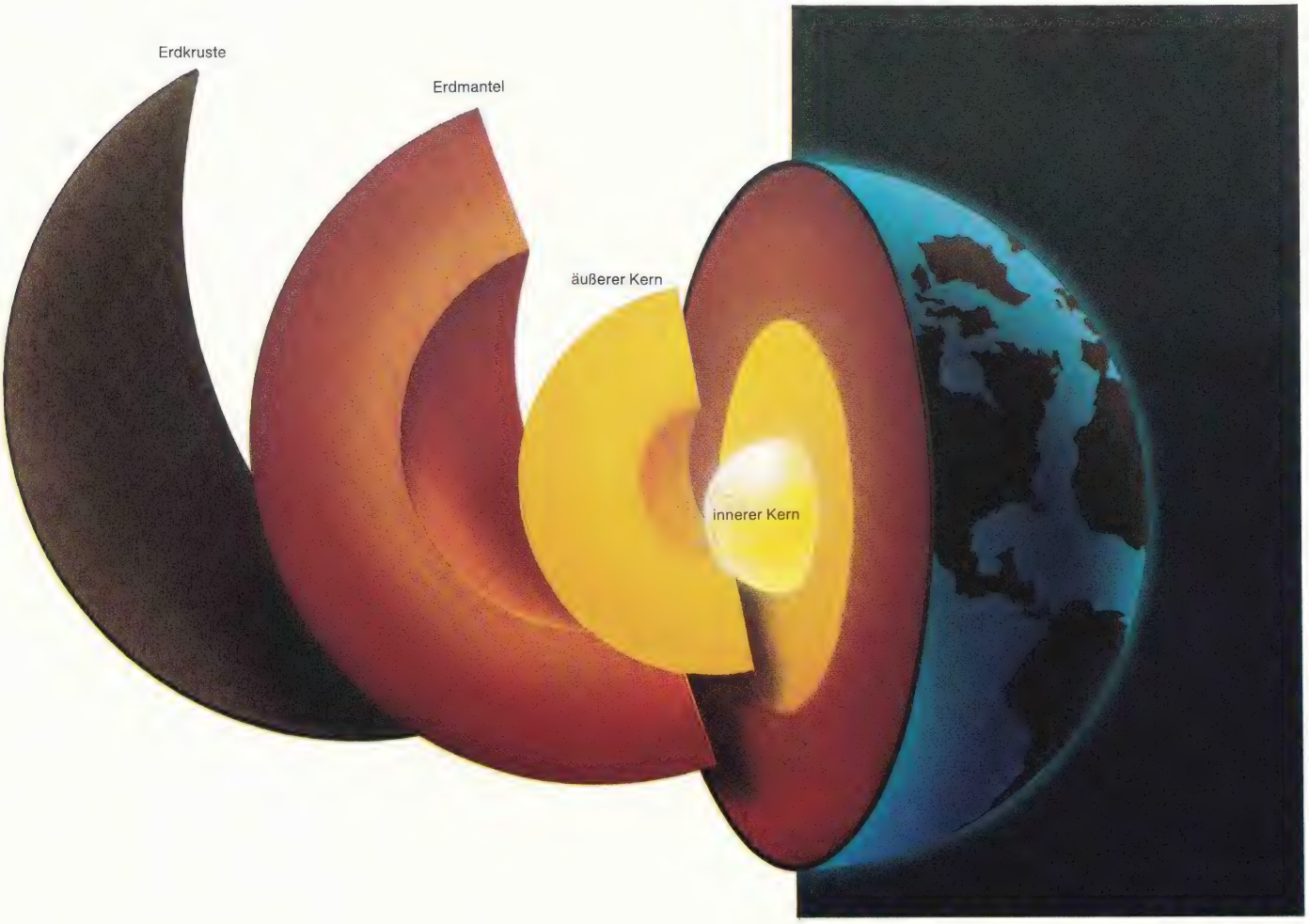
Rechte Seite: Könnten wir einen Querschnitt durch die Erdkugel anfertigen, wie ihn die Abbildung zeigt, dann würden wir erkennen, daß ihr Inneres in konzentrischen Schalen angeordnet ist.

nungen. Je nach der physikalischen Beschaffenheit des Materials, das sie durchlaufen, werden diese seismischen Wellen abgelenkt, beschleunigt, verlangsamt, reflektiert oder auch total blockiert.

Wenn die Stoßwellen auf der Erdoberfläche ankommen, werden die Schwingungen von empfindlichen Instrumenten, den sogenannten *Seismographen,* registriert. Wissenschaftler mit Spezialkenntnissen über die Frequenzen, die Durchlaufgeschwindigkeiten bei verschiedenen Felsarten und die Schwingungen der verschiedenen Wellen stehen bereit, die feinen Aufzeichnungen des Seismographen zu deuten. Auf diese Weise erhalten wir Informationen über die Struktur des Erdinneren.

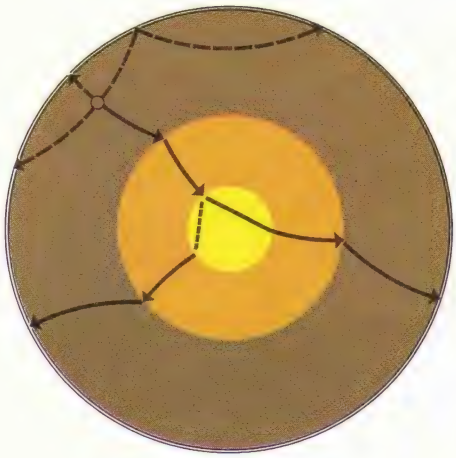
Die konzentrische Schalenstruktur der Erde

Die dünnste Schale ist die felsige *Erdkruste,* auf der wir gehen. Diese Kruste ist unter den Kontinenten ungefähr 30 km und unter dem Meeresboden 5–10 km dick. Obwohl diese Zone, geologisch gesehen, wegen der Bergformation, der Erosionen, Eruptionen und Erdbeben ziemlich uneinheitlich ist, unterscheidet die Geologie mehrere Felsschichten. Auf Grund der Kompression nimmt die Dichte des Gesteins in der Tiefe zu. An der Grenze zwischen der Kruste und der nächsten



Schale des Globus, dem Mantel, ändern sich die physikalischen Eigenschaften des Gesteins abrupt. Wir schließen auf die Existenz solcher Grenzen aus dem Verhalten der seismischen Wellen. Der wissenschaftliche Name für solche Grenzen ist *Diskontinuität* oder *Unstetigkeitsfläche.* Die oberste dieser Diskontinuitäten, die Grenze zwischen Kruste und Mantel, wird *Moho* genannt, nach Mohorovičić, ihrem jugoslavischen Entdecker.

Der *Erdmantel* besteht aus massivem Gestein. Er ist erheblich komprimierter als die Kruste und ungefähr 2 900 km dick. Die Temperaturen im Mantel betragen mehr als 1 500 °C (gegenüber ca. 400 °C in den unteren Schichten der Kruste); wegen des unerhört hohen Drucks wird das Gestein des Mantels gleichwohl nicht flüssig. Man nimmt aber an, daß an Stellen, an denen die überlagernde Kruste dünn ist, das Gestein zähflüssig werden, in die Spalten eindringen und langsam nach oben fließen kann. Wenn diese heiße Masse, *Magma* genannt, sich der



Erdbebenwellen geben uns Hinweise auf die Struktur unseres Planeten. Eine bestimmte Wellenart (gestrichelte Linie) durchdringt den äußeren Kern nicht, sondern prallt von ihm ab. Eine andere Wellenart (durchgehende Linie) kann den Kern durchdringen und sich darüber hinaus weiter fortpflanzen. Aus der Tatsache, daß die einen Wellen (durchgehende Linien) Flüssigkeiten passieren können, die anderen (gestrichelte Linien) dagegen von diesen abprallen, schloß man, daß der äußere Kern flüssig sein muß.

Die Folgen des Erdbebens vom März 1964 in Anchorage, Alaska. In den Trümmern sehen wir ein Haus, das hochgehoben und umgestürzt wurde.

Oberfläche nähert und der Druck nachläßt, kann sie als flüssige Lava aus einem Vulkanschlot ausströmen.

Die vielleicht aufregendste Erkenntnis der Seismologie ist, daß es im Zentrum der Erde einen festen inneren Kern gibt, dessen Dichte bei etwa 9,5 g pro cm^3 liegt (Felsen auf der Erdoberfläche haben vergleichsweise eine Durchschnittsdichte von 2,7 g pro cm^3). Obwohl die Debatte über den *Erdkern* immer noch nicht abgeschlossen ist, weisen die jüngsten Forschungsergebnisse darauf hin, daß der feste innere Kern mit einem Halbmesser von 1 200 km und einer Übergangsschicht von ungefähr 500 km Dicke etwa so groß ist wie der Mond. Die Übergangsschicht ist ihrerseits von einem flüssigen äußeren Kern von rund 1 700 km Dicke umgeben. Innerer Kern, Übergangsschicht und äußerer Kern sind in das Gestein des Mantels eingehüllt, der die Hauptmasse des Erdinnern bildet. Die Temperaturen im Kern erreichen mindestens 2 000 °C. Die beiden Kerne setzen sich hauptsächlich aus Nickel und Eisen zusammen.

Der Ozean aus Luft, in dem wir leben

Alle diese Erdschichten werden wir niemals sehen können. Eine Ausnahme bildet natürlich die äußerste Schale, die feste Erdoberfläche. Um aber unsere Reise um die Erde zu vervollständigen, begeben wir uns jetzt in ein Reich, das unsichtbar ist, obwohl es uns von allen Seiten umgibt, und auf dessen Boden wir leben wie die Fische im Meer. Dieses Reich ist die *Erdatmosphäre.* Sollte sich jemals dieser Ozean aus Luft verflüchtigen, dann würden alle Lebewesen sterben, und das Antlitz der Erde würde sich in eine Wüste aus Felsen und Staub verwandeln. Es ist die Erdatmosphäre, die unseren Himmel so blau macht. Ohne sie würde die Erde einen ewig schwarzen Himmel wie der Mond haben.

Die *Luft* ist hauptsächlich aus Gasen zusammengesetzt. Das für alle Lebewesen wichtigste davon ist der Sauerstoff. Knapp 21% der Luft bestehen aus diesem lebenserhaltenden Gas. Mehr als 77% der Erdatmosphäre ist inaktiver Stickstoff. Die anderen Gase, die weniger als 1% ausmachen, sind Kohlendioxid, Argon, Neon, Radon, Helium, Krypton, Xenon, Wasserstoff, Methan, Stickstoffdioxid und Ozon (eine Form des Sauerstoffs). Kohlendioxid, das von tierischen Lebewesen und von den Menschen beim Atmungsprozeß anfällt, ist unentbehrlich für die Photosynthese der grünen Pflanzen – eine weitere lebenswichtige Kettenreaktion. Ein Nebenprodukt dieses Vorgangs, durch den Pflanzen Sonnenenergie und Kohlendioxid aufnehmen, um mit deren Hilfe ihre eigene Nahrung herzustellen, ist der Sauerstoff, den wir zum Atmen brauchen. Außer den schon erwähnten Gasen enthält die Luft auch noch Wasserdampf.

Wenn es in unserer Atmosphäre nicht eine ständige Durchmischung gäbe, befänden sich alle schweren Gase in der Nähe der Erdoberfläche und die leichtesten hoch darüber. Aber durch die Luftbewegung in niedrigen Höhenlagen werden die Gase so vermischt, daß bis in eine Höhe von 73 Kilometern die Verhältnisse ungefähr gleichbleiben. Oberhalb dieser Grenze befinden sich vor allem leichtere Gase in zunehmend geringerer Verdichtung, bis in einer Entfernung von rund 1 600 km die Erdatmosphäre allmählich in den interplanetarischen Raum übergeht.

Tatsächlich werden 90% aller Gase in der *Troposphäre* gefunden, der untersten Gasschicht der Erdatmosphäre, die bis in eine Höhe von 16

Diese Seiten zeigen die allgemeine Schichtung der Erdatmosphäre. Auf der rechten Bildhälfte ist die Gesamtschichtung, ganz rechts die unterste Schicht der Atmosphäre dargestellt. Die allmählich dunkler werdenden Schattierungen des Blaus in der Abbildung rechts veranschaulichen die zunehmend dünner werdende Atmosphäre in den oberen Höhenlagen. Von unten nach oben sieht man die Troposphäre, die Stratosphäre, die Ionosphäre und ganz oben in etwa 500 km Höhe und darüber hinaus die ultradünne Exosphäre. Die Ozonschicht erscheint als eine hellgefärbte Schicht in der Stratosphäre. Weiter oben in der Ionosphäre sieht man die Sternschnuppen und Nordlichter, die hauptsächlich in dieser Schicht gebildet werden.

36.228 m
11.000 m
8.802 m
7.300-7.600 m

km reicht. Hier entsteht das *Wetter* der Erde – die Winde, die Wolken, die Stürme. Das über dem Land und den Meeren verdunstende Wasser steigt zusammen mit der warmen Luft auf und kondensiert sich in den Wolkenbildungen, die so eindrucksvoll aussehen, wenn man im Jet „über dem Wetter fliegt", im ultrahellen Licht und der dünnen Luft der *Stratosphäre.* Diese fast wetterlose Schicht aus leichteren Gasen, vor allem aus Helium und Wasserstoff, reicht bis in eine Höhe von etwa 80 km.

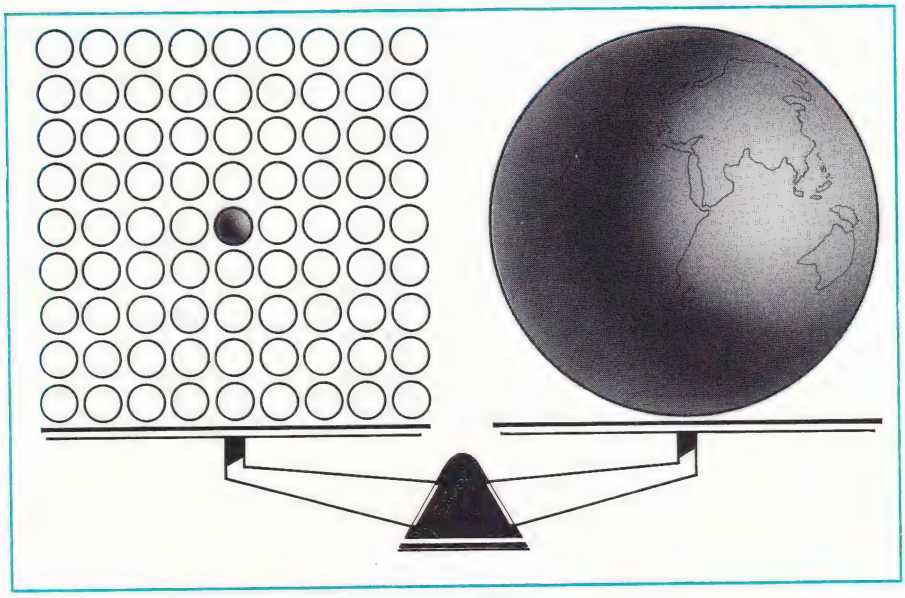
Die Raumfahrt hat das Interesse des Menschen für die Schichten oberhalb der Stratosphäre verstärkt. Diese „obere Atmosphäre" enthält nur 2% der Gesamtluftmasse der Erde. Sie dient als Schutzschirm gegen die ultravioletten Strahlen der Sonne und als Schutzschild der Erde gegen den Aufprall von Meteoriten. Durch die Reibungswärme lösen sich die meisten Meteoriten in der oberen Atmosphäre auf, verglühen und fallen als Staub zur Erde.

Der Mond, eine schweigende, unbewohnte Welt

Die Erde dreht sich alle 24 Stunden einmal um ihre Achse. So kommt es, daß ihre Oberfläche wechselnde Perioden von Sonnenlicht und Dunkelheit durchläuft. Vom Weltraum aus gesehen, scheint die Erde selbst kräftig zu leuchten. Ihr Licht jedoch erhält sie von der Sonne. Tatsächlich ist das Erdlicht erheblich heller als das Mondlicht, das ebenfalls eine Reflexion des Sonnenlichts ist. Auch der Mond dreht sich um seine Achse, jedoch viel langsamer als die Erde. Eine ganze Drehung dauert 27,3 Tage. Dies ist genau die Zeit, in der der Mond einen Umlauf um die Erde vollzieht.

Der Mond ist der einzige Trabant der Erde und – bei einer mittleren Entfernung von 384 000 km – ihr nächster Nachbar im Weltraum. Der Monddurchmesser beträgt 3 460 km; das entspricht etwas mehr als einem Viertel des Erddurchmessers, während sein Volumen nur etwa 1/49 dessen ausmacht, was unser Globus an Rauminhalt besitzt.

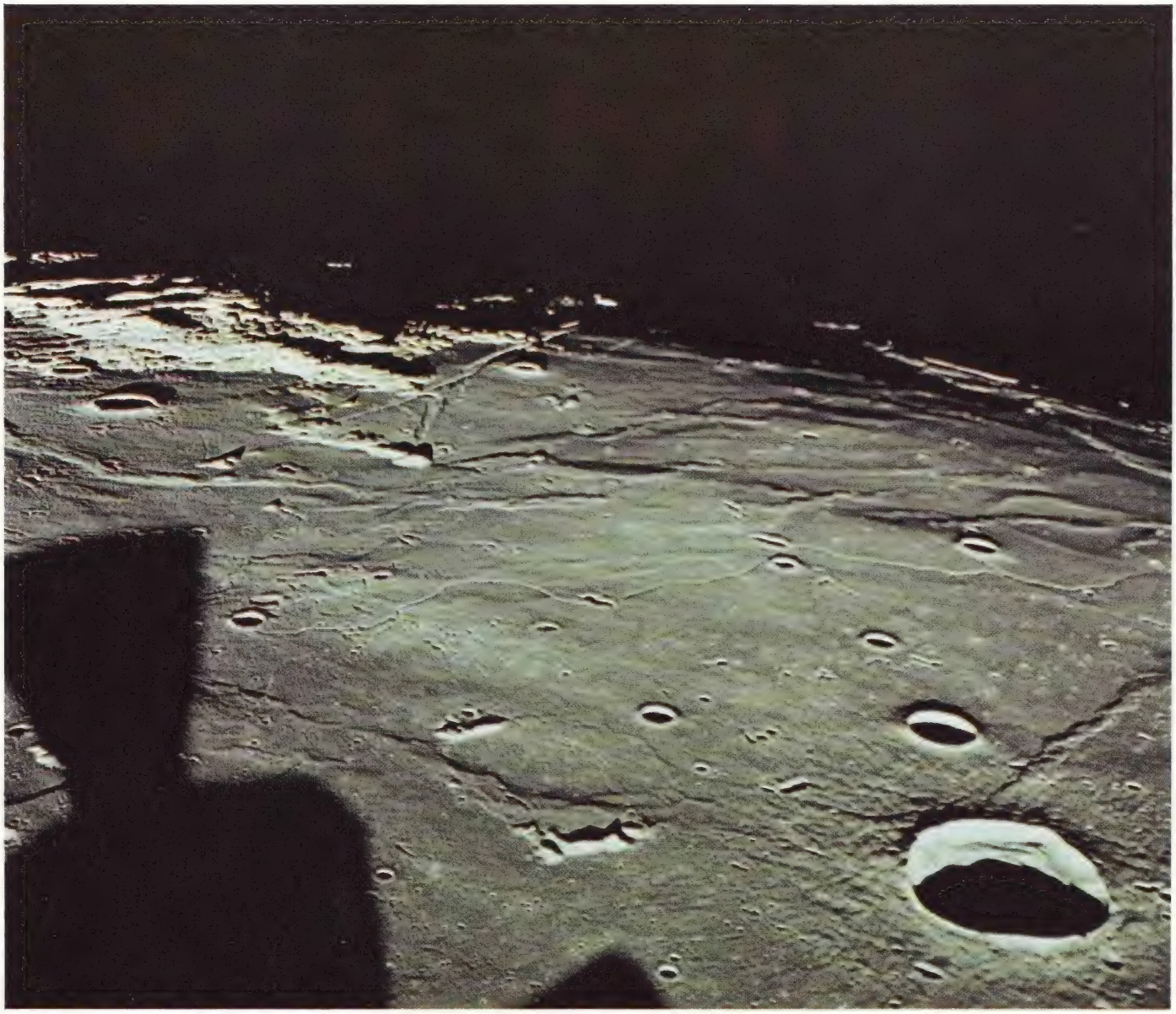
Um das Gewicht der Erde auf einer imaginären Waage auszugleichen, benötigte man 81 Kugeln vom Gewicht des Mondes.



Der dramatische Fortschritt der Wissenschaft in den letzten Jahrzehnten brachte uns eine Fülle von Daten, die heute Schritt für Schritt zur Korrektur veralteter Theorien über die Geschichte des Mondes und seiner Zusammensetzung führen. Die Analyse der ersten Gesteinsproben von der Mondoberfläche ergibt Unterschiede zu allen bekannten Gesteinsarten der Erde.

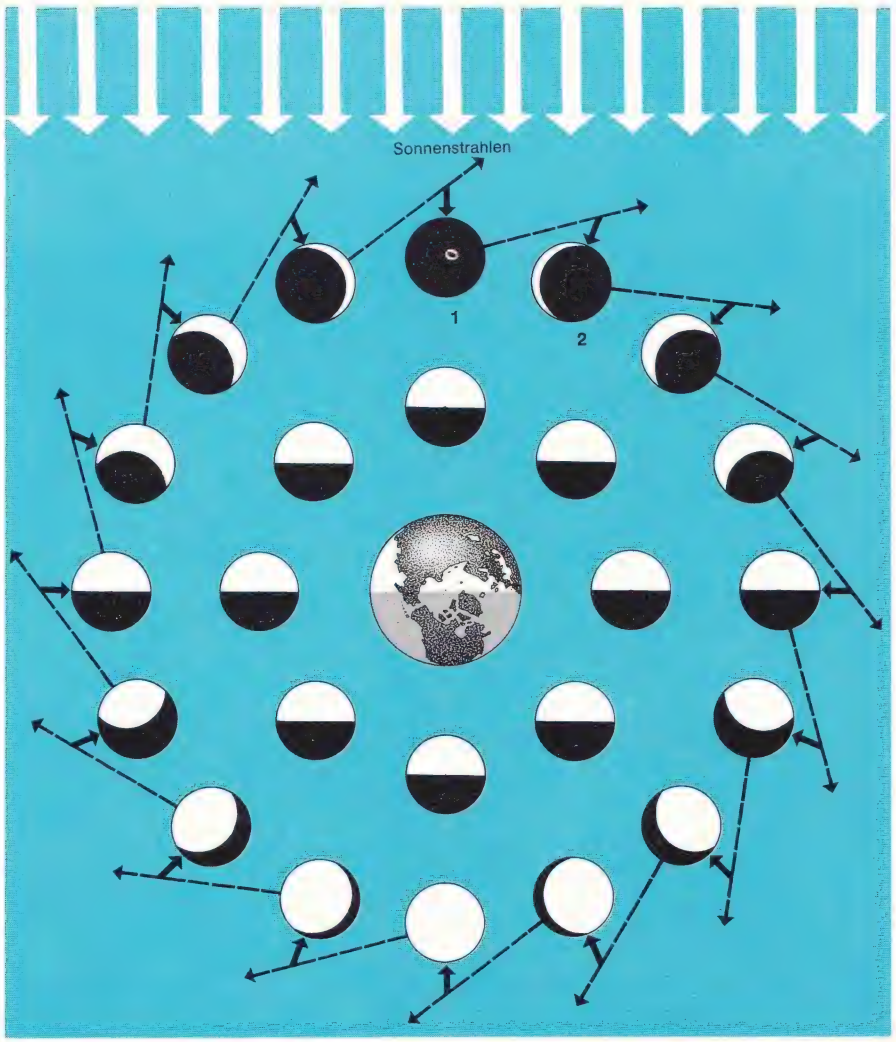
Es hat sich gezeigt, daß der Mond keine nennenswerte Atmosphäre, kein Wasser und auch kein Leben aufweist. Dieser Erdtrabant ist eine geräuschlose Wüste, auf die die Sonne erbarmungslos herableuchtet und starre Muster von Licht und Schatten erzeugt. Warum fehlt es dem Mond an Luft und Wasser, die auf der Erde so reichlich vorhanden sind? Dies hängt mit der geringen Größe des Mondes und der schwachen Anziehungskraft auf seiner Oberfläche zusammen. Selbst auf der Erde,

Auf dem Mond gibt es keine Atmosphäre. Deshalb ist sein Himmel schwarz, und das Land scheint von einem Riesenscheinwerfer angeleuchtet zu sein. Aufnahme von Apollo 11, 1969.



die ein 16mal stärkeres Schwerefeld hat, entweichen zum Teil die leichteren Gase aus der oberen Erdatmosphäre in den Weltraum. Der Mond ist so viel kleiner als die Erde. Als er noch sehr jung war, konnte er offenbar die Gase, aus denen seine primitive Atmosphäre bestand, nicht festhalten, und so entwichen diese sehr schnell in den Weltraum. Nach Jahrmilliarden fehlen also dem Mond die beiden Grundvoraussetzungen für Leben, wie es auf der Erde existiert: eine Atmosphäre und Wasser.

Durch das Fehlen einer isolierenden Atmosphäre gibt es auf dem Mond Temperaturschwankungen zwischen 121 °C im Äquatorgebiet mittags und −121 °C vor Sonnenaufgang. Da es außerdem auf dem Mond kein Wasser gibt, sind jene dunkle Flecke, die dem bloßen Auge sichtbar sind und die *Maria,* Meere oder *Mondseen* genannt werden, falsch benannt. In Wirklichkeit handelt es sich dabei um riesige Lagen von hart gewordenem Fels, in vielen Fällen um längst erkaltete Lava vulkanischer Herkunft, die jetzt mit pudrigem Gesteinsstaub bedeckt ist.



Der Mond steht schräg zur Erde. Ohne die Anziehungskraft der Erde würde sich der Mond an der geraden, gestrichelten Linie entlang von Position 1 fortbewegen. Auf Grund der Erdanziehungskraft sinkt er auf Position 2 ab. Dieses Phänomen wiederholt sich bei allen folgenden Positionen immer wieder. Das Ergebnis ist, daß eine fortdauernde Bewegung den Mond auf seiner Umlaufbahn hält. In dieser Abbildung sieht man die Positionen des Mondes auf seiner Umlaufbahn (innerer Kreis) sowie die Mondphasen, die in diesen Positionen jeweils von der Erde aus sichtbar sind (äußerer Kreis).

Linke Seite: Das Mondlandefahrzeug (LEM) der Apollo-12-Expedition, aufgenommen während seines Umlaufs um den Mond im Jahre 1969. Das Raumschiff folgt den gleichen physikalischen Gesetzen wie der Mond auf seinem Umlauf um die Erde.

Die Umlaufbahn des Mondes und die universelle Gravitation

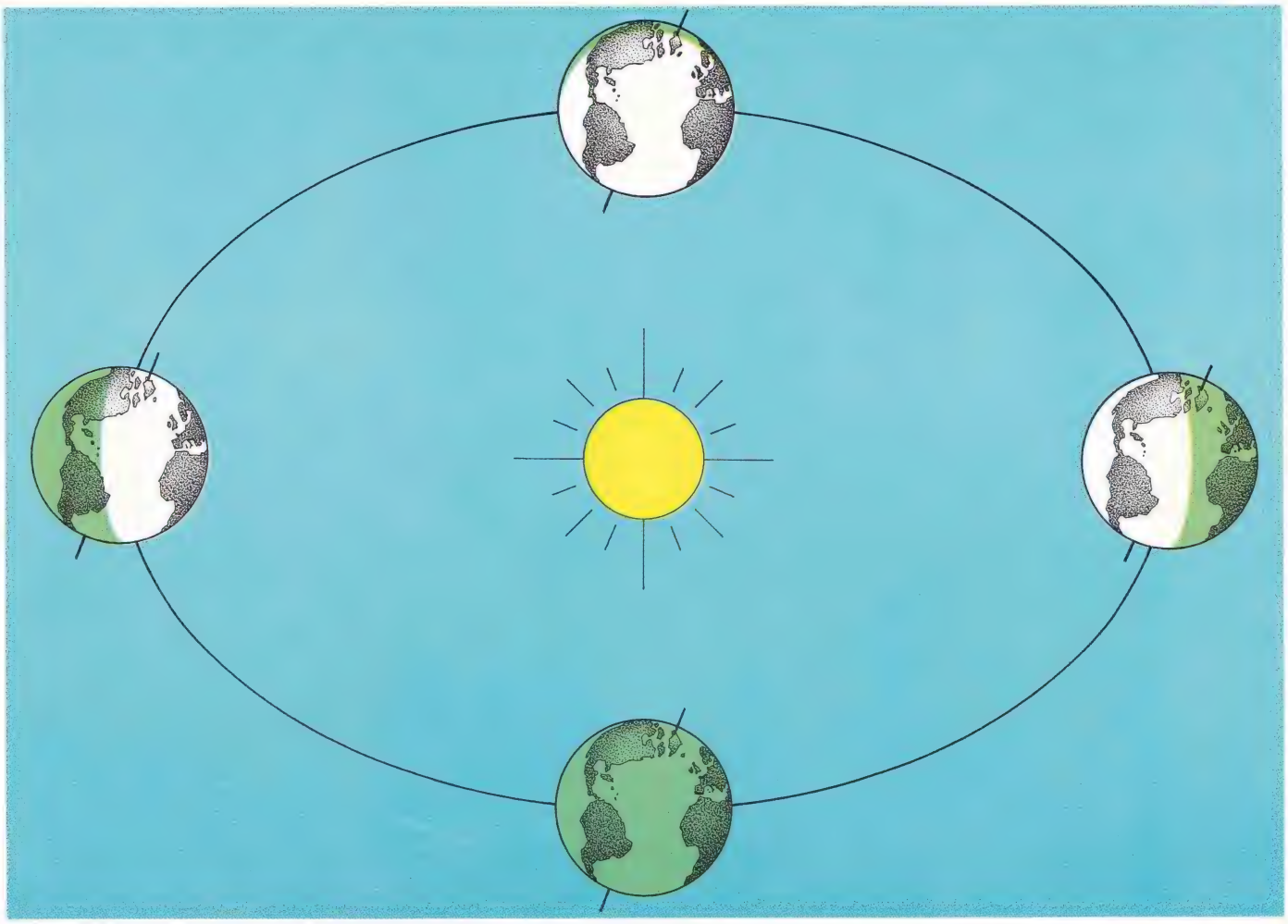
Das Verhalten unseres natürlichen Satelliten, des Mondes, unterscheidet sich in nichts von dem Verhalten unserer künstlichen Satelliten im Weltraum. Beide folgen dem Gesetz der Schwerkraft oder Gravitation, das die Bewegung der Himmelskörper regelt. Weil es den ganzen Kosmos betrifft, sprechen wir von *universeller Gravitation.* Die Theorie darüber wurde im 17. Jahrhundert von Isaac Newton formuliert. Sie besagt, daß zwei Körper sich gegenseitig mit einer Kraft anziehen, die dem Produkt ihrer Massen direkt und dem Quadrat ihrer Entfernung umgekehrt proportional ist. Diese Theorie kann man auf jeden Körper anwenden. Je größer seine relative Masse und je geringer die Entfernung ist, die ihn von anderen Körpern trennt, desto größer wird die Anziehung sein. Dies heißt dann, daß jeder Körper sich im Zentrum eines Schwerefeldes befindet, dessen Vorhandensein einen unvermeidlichen Einfluß auf andere Körper ausübt, unabhängig von ihrer Entfernung voneinander. Das *Gravitationsgesetz* gilt überall im Weltall, so daß es eine ständige Wechselwirkung gibt zwischen allen Körpern, die sich darin befinden. Jeder von uns hat sozusagen sein eigenes Schwerefeld, genau wie alle Dinge um uns herum bis hin zum kleinsten Kieselstein und zur leichtesten Feder. Aber die Schwerkraft all dieser verschiedenen Dinge ist unbedeutend im Vergleich zur Anziehungskraft der Erde. Wenn man einen Ball in der Hand hält und ihn losläßt, dann fällt er zu Boden. Das gleiche geschieht, wenn man einen Kieselstein oder eine Feder fallen läßt.

Obgleich der Mond von der Erde sehr weit entfernt ist, folgt auch er dem Gravitationsgesetz der Erde und fällt in einer nach innen geneigten Kurve, wie ein geworfener Ball oder Stein, auf die größere Masse der Erde zu. Die Anziehungskraft wirkt der Trägheit entgegen, das heißt der Neigung eines sich bewegenden Körpers, sich weiter in der gleichen Richtung zu bewegen, es sei denn, er wird von einer stärkeren Kraft abgelenkt. In dieser Weise hebt die Anziehungskraft der Erde die Fliehkraft des Mondes auf und bewirkt so, daß der Trabant sich in einem permanenten „Fallzustand" auf einer geschlossenen elliptischen Umlaufbahn um unseren Planeten befindet.

Die Erde und die anderen Planeten auf ihren Umlaufbahnen um die Sonne

Die Grundfakten unseres Planetensystems sind heute allgemein anerkannt. Es fällt uns schwer, uns in die Mentalität einer Zeit zurückzuversetzen, in der man die Erde für den Mittelpunkt dieses Systems hielt. Doch wurde die komplizierte Theorie, daß die Sonne und alle anderen Planeten unseren kleinen Planeten Erde umkreisen würden, sogar von solch bedeutenden Denkern wie Aristoteles vertreten – und das, obwohl schon im 4. Jahrhundert v. Chr. Herakleides Pontikos und Aristarchos von Samos Theorien entwickelt hatten, die ein Urbild unseres modernen *heliozentrischen Planetensystems* waren. Erst im Jahre 1543 veröffentlichte Kopernikus sein in lateinischer Sprache abgefaßtes, bemerkenswertes Werk „Über die Kreisbewegungen der Weltkörper" (deutsch 1879). Darin heißt es u. a.: „... im Mittelpunkt steht die Sonne ... Auf ihrem königlichen Thron sitzend, regiert sie die Familie der Planeten, die sie umkreisen ..."

Heute wissen wir, daß die Erde genauso von der Anziehungskraft der sehr viel größeren Sonne in ihrer Umlaufbahn gehalten wird wie der Mond von der Erde. Dies ist der Grund dafür, daß unser Planet, von



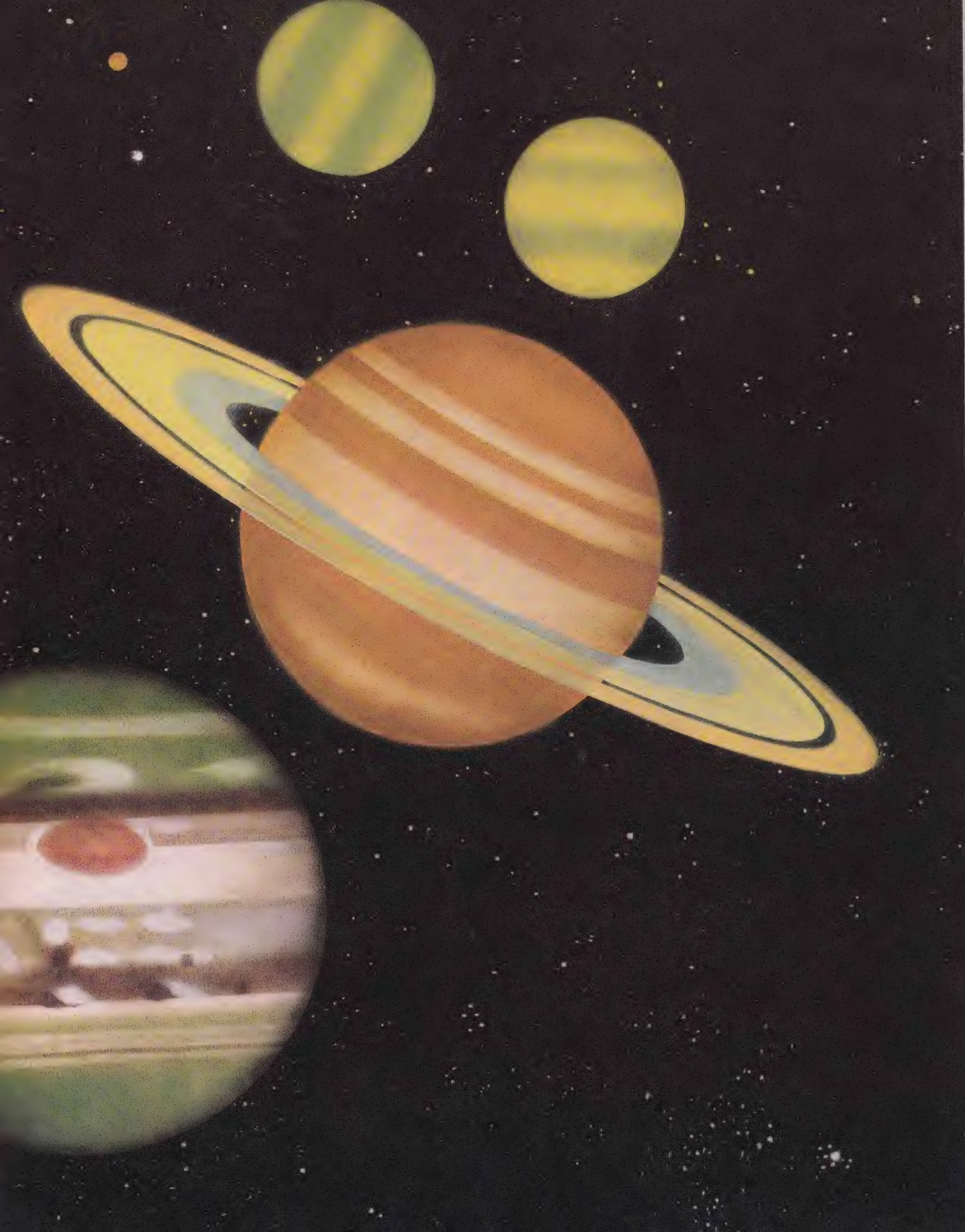
seinem Mond begleitet, sich auf einer riesigen, fast kreisförmigen Umlaufbahn um die Sonne bewegt. Die Umlaufzeit der Erde beträgt ein Jahr bei einem mittleren Abstand von der Sonne von 149,6 Millionen Kilometern. Es ist sehr schwer, sich eine solch ungeheure Entfernung vorzustellen. Lichtstrahlen, deren Ausbreitungsgeschwindigkeit im leeren Raum 299 790 km/s beträgt, benötigen nur 8 Minuten, um diese Entfernung zurückzulegen. Im Vergleich dazu bewegen sich die Lichtstrahlen von der Erde bis zum Mond in kaum mehr als einer Sekunde.

Außer der Erde gibt es acht andere Planeten in unterschiedlichen Entfernungen von der Sonne, die die Sonne auf ihren jeweils eigenen Bahnen umrunden. Wie die Erde und der Mond strahlen diese Himmelskörper das empfangene Sonnenlicht in das All ab. Wir nehmen sie nur als leuchtende Pünktchen am Nachthimmel wahr, weil sie so weit entfernt sind. Tatsächlich sind aber manche von ihnen ungeheuer groß, wie z. B. der Planet Saturn, der einen Äquatordurchmesser von 120 800 km besitzt, oder Jupiter (der größte Planet von allen) mit einem Äquatordurchmesser von 142 800 km. Verglichen mit diesen Giganten, sind unser Erdball und die uns unmittelbar benachbarten kleineren Planeten sowie der Pluto wirklich winzig.

Die Umlaufbahn der Erde und die Jahreszeiten. Während die Erde die Sonne umkreist, bleibt die Neigung ihrer Achse konstant, und die Pole durchlaufen extreme Bedingungen von Licht und Dunkelheit. In der Abbildung links ist auf der nördlichen Halbkugel Sommer, weil die Sonnenstrahlen dort steiler einfallen als im Winter (Stellung der Erde wie in der Abb. rechts). An den beiden Positionen oben und unten (den Äquinoktien) sind Tag und Nacht gleich lang (Frühlings- bzw. Herbstanfang).

Abb. auf den beiden folgenden Seiten: Maßstabgetreue Abbildung der Hauptplaneten des Sonnensystems, aufgereiht an einer Seite eines kleinen Segments der riesigen Sonnenkugel. Von links nach rechts erscheinen die Planeten Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun und Pluto.

DI CIANCIO



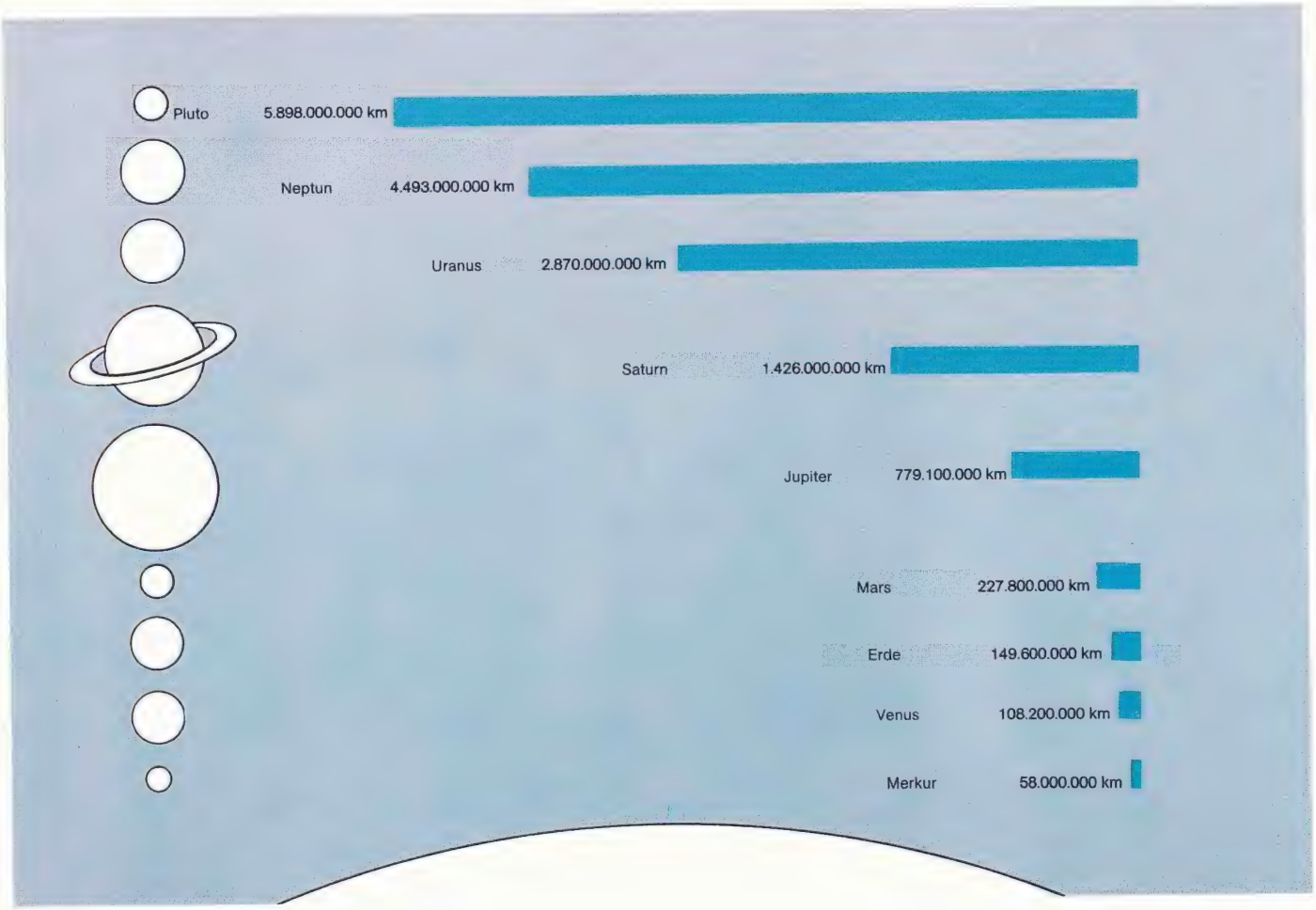
Eine Reise durch unser Sonnensystem

Wenn der Mensch von der Sonne aus eine Reise zu den verschiedenen Planeten antreten würde, dann würde er zuerst auf den *Merkur* treffen, mit einem Durchmesser von nur 4 840 km der kleinste Planet. Ähnlich wie unser Mond ist der Merkur einfach zu klein, um eine Atmosphäre zu haben. Er ist ein lebloser, verbrannter Planet voller Krater und Gesteinsschutt. Auf der der Sonne zugewandten Seite erreicht die Temperatur der Felsen über 350 °C; auf der dunklen Seite befindet sich eine gefrorene Landschaft, deren Temperatur bei rund −150 °C liegt.

Auf den ungastlichen Merkur folgt die *Venus*, ein Planet, der in Größe und Gewicht mit der Erde vergleichbar ist. Im Unterschied zur Erde ist die Venus jedoch eingehüllt in undurchsichtige Wolkenschichten, die mehrere Kilometer dick sind und die Sonnenstrahlen mit einer blendenden Leuchtkraft reflektieren. Sie hat eine Oberflächentemperatur von rund 475 °C. Außerdem enthält ihre Atmosphäre kaum Sauerstoff und 100 000mal mehr Kohlendioxid als die Erde. Dies wäre ein Argument gegen das Vorhandensein von pflanzlichem Leben.

Der nächste Planet ist der *Mars*. Vor kurzem haben Wissenschaftler nach Tausenden von Aufnahmen, die aus Raumsonden (unbemannten Raumfahrzeugen) gemacht wurden, eine Karte der gesamten Marsoberfläche erstellt. Über diese Marslandschaft gibt es mehr Spekulationen und Untersuchungen als bei jedem anderen Planeten. Der Mars ist mit

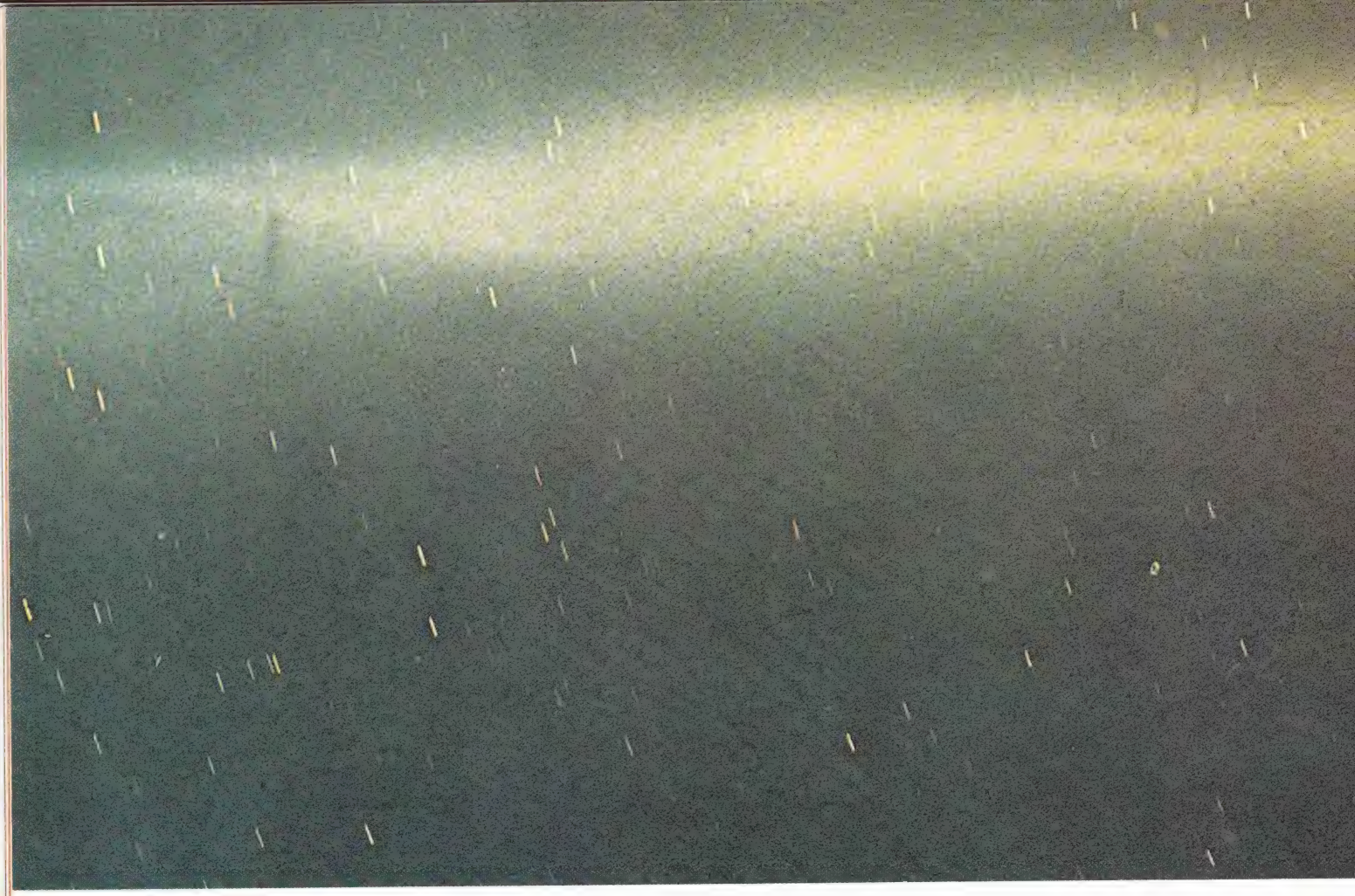
Die Positionen der verschiedenen Planeten im Sonnensystem mit der Sonne im Mittelpunkt. Die Streifen zeigen die Entfernung der verschiedenen Planeten von der Sonne, die auf der Grundlinie liegend angedeutet ist.



einem Durchmesser von 6800 km gut halb so groß wie die Erde und ungefähr anderthalbmal so weit entfernt von der Sonne. Die Atmosphäre auf dem Mars ist ziemlich dünn und enthält kaum Sauerstoff. Mittags steigt die Oberflächentemperatur am Äquator auf ungefähr 27 °C, aber nachts fällt sie auf unter −50 °C ab. Im großen und ganzen ist der Mars ein trockener Planet mit einem milliardenfach geringeren Wassergehalt als die Erde. Man glaubt, daß der Mars aus Gestein besteht, das dem auf unserem Planeten sehr ähnelt. Dunkle Flecken, die sich je nach Jahreszeit verändern, breiten sich wie Teppiche über Krater und Ebenen aus, und weiße Kappen, wie Rauhreif, bedecken die Pole. Dies alles läßt die Frage aufkommen, ob es Leben auf dem Mars gibt und wie dieses Leben aussieht – eine faszinierende Frage, deren Beantwortung uns bemannte Raumschiffe zum Mars in den nächsten zwei bis drei Jahrzehnten näherbringen könnten.

In einer Entfernung von 778,3 Millionen Kilometer von der Sonne würden wir den größten Planeten von allen erreichen, den *Jupiter,* der wie die Venus von dichten Wolkenschichten bedeckt ist. Er ist rund 11mal größer als die Erde und 318mal so schwer. Jenseits des Jupiters befinden sich die anderen Riesenplaneten: *Saturn, Uranus* und *Neptun.* Auf dem Jupiter könnte es durchaus eine Form von Leben geben. Obgleich seine Atmosphäre eine bedrohliche Mischung von Ammoniak,

So sieht der Planet Mars aus, wenn man ihn durch ein großes Teleskop betrachtet. Auf dieser Aufnahme erkennt man ganz deutlich einige dunkle Flecke auf dem allgemein rot- und orangefarbenen Hintergrund der Wüstenregionen. Diese dunklen, noch nicht endgültig gedeuteten Flecke verändern sich in Farbe und Größe mit den Jahreszeiten. Am Rand der strahlenden Scheibe befindet sich eine der Polkappen. Bis vor kurzem noch vermutete man, daß diese Eiskappen aus gefrorenem Kohlendioxid bestünden. – Durch die Viking-Sonden, die 1976 auf dem Mars landeten, wird diese Vermutung korrigiert: Es handelt sich höchstwahrscheinlich um Wasser. In dem Bildausschnitt rechts unten wird ein Ausschnitt aus der Oberfläche des Planeten gezeigt, aufgenommen von einer Mariner-Sonde. Wenn man sich dem Mars nähert, werden Krater sichtbar, von denen der Planet förmlich übersät ist. Häufig handelt es sich dabei um Aufsturzkrater von Meteoriten. Auf dem Mars gibt es allerdings auch gigantische Vulkanstrukturen, wie die Bilder von Mariner 9 aus dem Jahre 1972 zeigen.

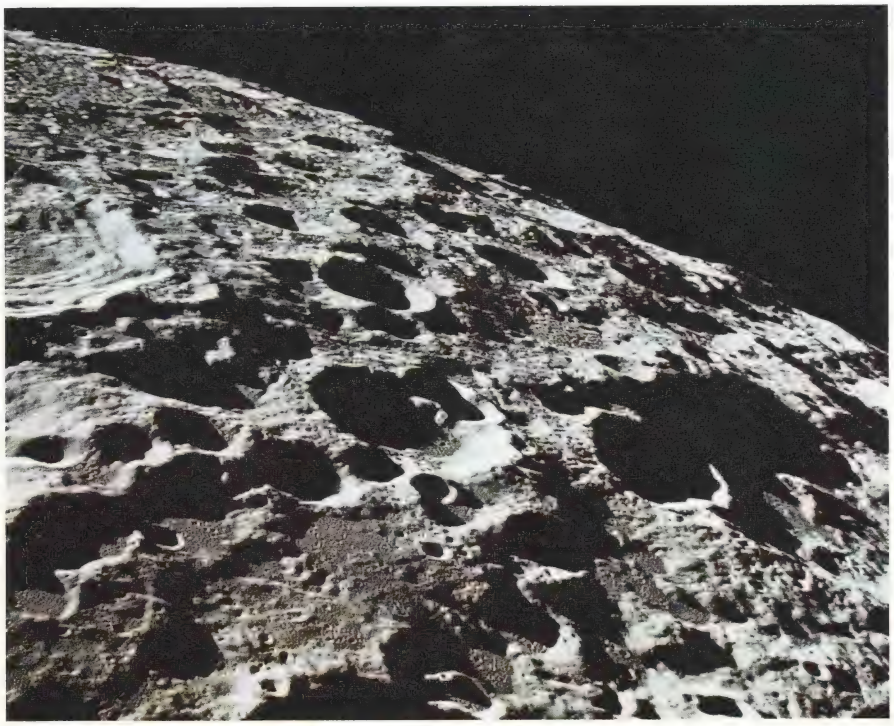


Methan, Wasserstoff und Helium plus Wasserdampf ist, sind dies genau die Gase, die vermutlich in der Uratmosphäre der Erde zu finden waren. In einer solchen Mischung könnten sich die molekularen Bausteine des Lebens entwickeln.

Einen der eindrucksvollsten Anblicke auf unserer interplanetarischen Reise böte die bemerkenswerte Struktur der *Saturnringe.* Sie gleichen zunächst soliden Tellern. Tatsächlich bestehen sie aus Milliarden von kleinen Einzelkörpern, die um den Planeten kreisen, jeder auf einer eigenen Umlaufbahn.

Die letzte Station auf unserer Reise, 5910 Millionen Kilometer von der Sonne entfernt, wäre der Planet *Pluto,* der nicht viel größer zu sein scheint als unser Mond. Manche Astronomen meinen, Pluto sei früher ein Satellit des Neptuns gewesen, der auf eine eigene Umlaufbahn „entkommen" sei. Vom Pluto aus würde die Sonne nur noch wie ein großer Stern aussehen.

Einige der Planeten, die wir auf dieser phantastischen Reise besuchten, haben Satelliten genau wie die Erde. Der Mars z. B. hat zwei, die aber sehr klein sind. Die meisten Satelliten umkreisen den Jupiter und den Saturn. Der Saturn hat 10 Monde, der Jupiter 12. Alle diese Planeten und ihre Monde bilden unser Sonnensystem, zusammen mit einer großen Schar von Kometen, Asteroiden und Meteoriten, die sich in sehr begrenzten Bahnen bewegen, welche die Erdumlaufbahn mehrfach durchkreuzen.



Oben: So sieht ein großer Komet aus, wenn man ihn durch ein Teleskop betrachtet. Die Aufnahme zeigt den 1963 gesichteten Kometen Ikeya.

Links: Eine Nahaufnahme eines kleinen Teils der Mondoberfläche, die durch Meteoritenkrater zernarbt ist. Weil der Mond keine Atmosphäre hat, verursachen sogar die kleinsten Meteoriten Krater. Aufnahme von Apollo 11, 1969.

Der Planet Saturn, wie er einem Astronauten erscheinen würde, der sich zufällig auf dem Saturnmond Mimas befände, ungefähr 185 000 km entfernt. Die nur einige Kilometer breiten Ringe, die nicht fest sind, sondern aus unzähligen kleinen Einzelteilchen bestehen, würden sehr dünn aussehen. Wir können auch das breite Band aus Dunkelheit erkennen, das auf die Oberfläche des Planeten projiziert ist.

Die *Kometen* sind extrem leichte Körper, bestehend aus metallischen und gefrorenen Teilchen, die in Sonnennähe lange, leuchtende „Schweife" aus extrem verdünntem Gas entwickeln. Die *Meteoriten* dagegen sind unterschiedlich große Bruchstücke aus Metall und vereinzelten Gesteinsbrocken.

Das Universum der Sterne und der Milchstraßen

Die Sonne, ein gigantischer nuklearer Schmelzofen

Wenn man die untergehende *Sonne* in dem Augenblick betrachtet, in dem ihr Licht rot ist, aber nicht mehr blendend, kommt sie einem nicht größer vor als der Mond. Diese Illusion wird durch die ungeheure Entfernung hervorgerufen. Der tatsächliche Durchmesser der Sonne ist, wie wir gesehen haben, mit rund 1,4 Millionen Kilometern etwa 10mal größer als der des größten Planeten. Vergleicht man die Sonne mit einem Ball von einem Meter Durchmesser, dann würde derjenige Ball, der die Erde darstellt, nur rund 1 cm messen.

Es gab eine Zeit, in der die Menschen glaubten, die Sonne sei ein Feuerball, der wie ein Kohlenfeuer brenne. Tatsächlich war dies eine außerordentliche Untertreibung. Heute wissen wir, daß die *Sonnenenergie* der Kernenergie entspricht, die durch die Kernverschmelzung bei der Explosion von Wasserstoffbomben (thermonukleare Kernfusion) freigesetzt wird. Atomkerne verschmelzen von einer bestimmten Temperatur an. Dabei wird Energie frei. Bei der Sonne handelt es sich um die Wasserstoffkerne, die Protonen, die sich während ihrer Verschmelzung in Heliumkerne verwandeln. Dabei entsteht die Sonnenenergie. 70 bis 80% der Sonnenmaterie besteht aus Wasserstoff. Astrophysiker können durch Spektralanalyse ausrechnen, wieviel Wasserstoff in der Sonne oder in irgendeinem anderen Stern vorhanden ist. Sie wissen auch, wie schnell der Wasserstoff verbraucht wird. Nach diesen Berechnungen werden die Wasserstoffvorräte der Sonne noch für ungefähr 15 Milliarden Jahre ausreichen.

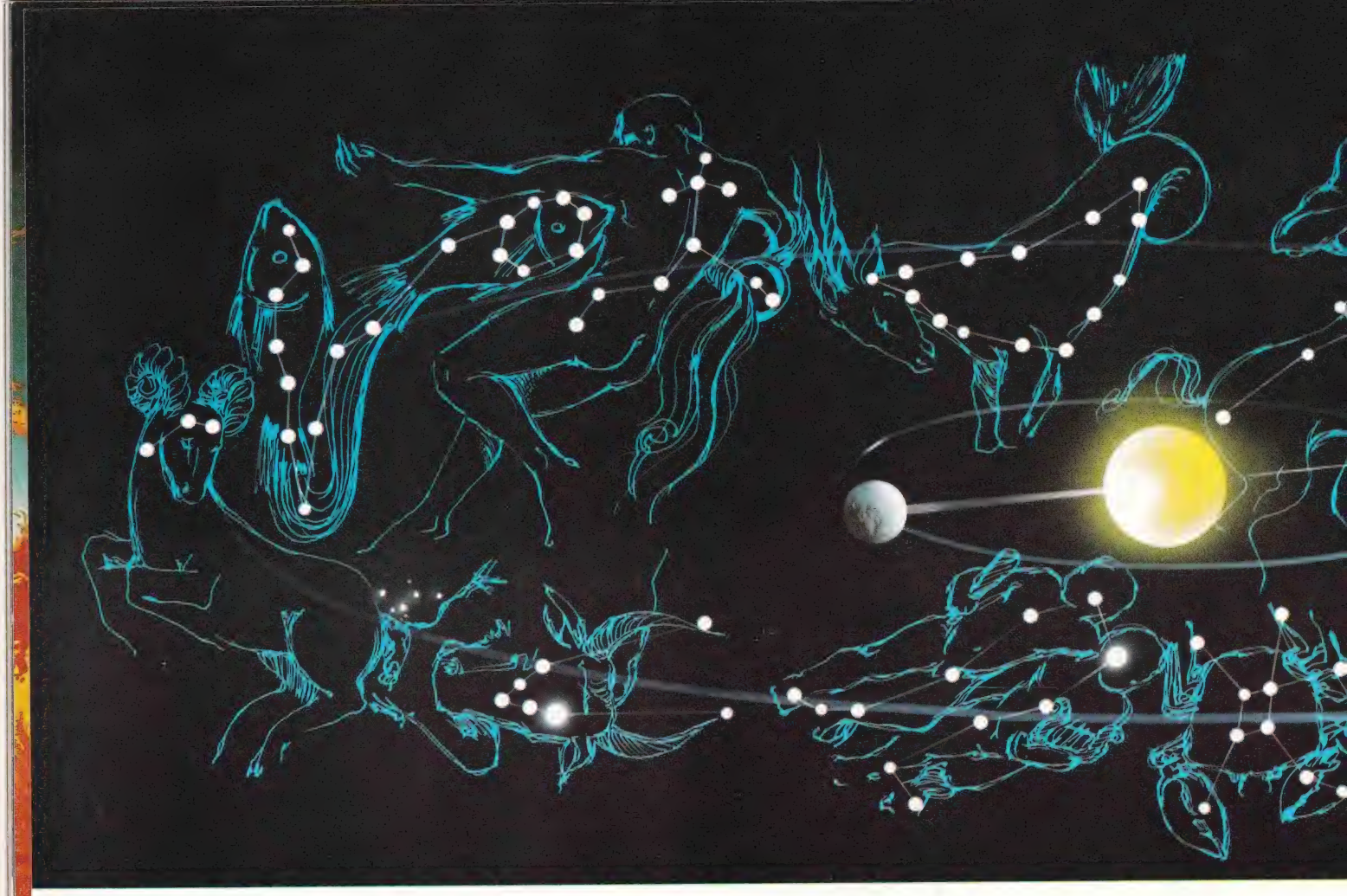
Astronomen haben festgestellt, daß die Temperatur der Sonnenoberfläche weit über 5 000 °C liegt. Im Zentrum herrscht eine Temperatur von 15 000 000 °C. Unter solchen Bedingungen kann die Sonne weder fest noch flüssig sein. Die Sonnenmaterie befindet sich im Zustand eines idealen Gases. Auf der Oberfläche z. B. zerfallen alle Wasserstoffatome in Protonen und Elektronen, während den Sauerstoffatomen zwei oder drei Elektronen von ihren äußeren Schalen weggerissen werden. Im Inneren der Sonne werden Sauerstoffatomen und selbst den Atomen von Metallen wie Kupfer und Eisen oder sogar den schwereren Elementen ihre Elektronen weggerissen. So entsteht ein Durcheinander

Ein feuriger Sonnenuntergang an der Pazifikküste bei Santa Cruz. Während die Sonne untergeht, kann man sie deutlich beobachten oder fotografieren. Die Atmosphäre scheint ihre Kugelgestalt zu verzerren.

freigelegter Kerne und freier Elektronen, die sich in gewaltiger thermaler Bewegung befinden.

Das Zentrum dieser leuchtenden Masse können wir natürlich nicht sehen. Die Energie, die sie fortwährend freisetzt, könnte jedes Lebewesen auf der Erde vernichten. Aber sie wird absorbiert und gefiltert, bevor sie die Erdoberfläche in Form von Wärme, Licht und anderen Wellenarten erreicht. Diese Wellen werden danach weiter gefiltert, während sie die Erdatmosphäre durchdringen, und ermöglichen so schließlich das Leben auf der Erde. Ohne diese enorme Energie könnten unsere Pflanzen nicht existieren. Das Sonnenlicht macht es den Zellen der grünen Pflanzen möglich, das Kohlendioxid der Luft in seine Bestandteile Kohlenstoff und Sauerstoff zu zerlegen. Der Kohlenstoff wird von den Pflanzen zum Aufbau ihrer Körpersubstanz benötigt, und der Sauerstoff wird in die Atmosphäre abgegeben. Tiere, die diese Pflanzen fressen, verbrennen jene Substanz, nämlich Kohlenhydrate in Form von Traubenzucker, in ihren Körpern. Durch die Atmung nehmen sie Sauerstoff auf und geben Kohlendioxid ab. Dabei wird wieder Energie freigesetzt, die für die Lebensvorgänge nötig ist. Dies ist natürlich stark vereinfacht dargestellt; aber es genügt, um uns daran zu erinnern, daß die Sonne uns mehr als nur Wärme beschert.

Linke Seite: Der innere Aufbau der Sonne, wie die moderne Astronomie sie sieht. Im Zentrum dieses Sterns sehen wir sein „flammendes Herz". Dort finden fortwährend Kernreaktionen statt, d. h., durch die Verschmelzung von Wasserstoffatomkernen werden Heliumatomkerne gebildet. In diesem Sonnenkern herrscht vermutlich eine Temperatur von 14 Millionen °C. Die vom Sonnenkern ausströmende Energie hält den Druck der gewaltigen Gasmassen, die von allen Seiten nach innen drücken, in Schach. Dies verleiht der Sonne ihre Stabilität und verhindert, daß sie in sich zusammenstürzt. Die leuchtende äußere Schicht, der für uns direkt sichtbare Teil der Sonne, ist die sogenannte Photosphäre. Ihre Struktur wirkt durch aufsteigende heißere Gaselemente körnig; auf deren „Oberfläche" befinden sich größere dunkle, fleckige Gebilde – die bekannten Sonnenflecken. Darüber liegt eine dünne Wasserstoffatmosphäre, aus der riesige Strahlen flammenden Wasserstoffs herausgeschleudert werden, die sog. Protuberanzen. Das Ganze ist von der Sonnenkorona umhüllt, einer dünnen Schicht von Atomen und Gasteilchen.



Die Sterne, Millionen von Sonnen in ungeheuren Entfernungen

Im Weltall gibt es unzählige andere gigantische Himmelskörper, die wie die Sonne leuchten, weil in ihnen durch Kernfusion fortwährend Energie erzeugt wird. Dies sind die *Sterne.* Die Sonne ist nur ein verhältnismäßig unbedeutender Stern, der der Erde lediglich näher liegt als die anderen. Tagsüber kann man die Sterne nicht sehen, da die Atmosphäre, von der Sonne erhellt, ihr schwaches Licht aufhebt. Sogar nachts kann man sie nur als leuchtende Punkte erkennen, weil sie so weit entfernt sind.

Die Astronomie mißt die Entfernung zwischen den Gestirnen nach Lichtjahren. Ein *Lichtjahr* bezeichnet die Entfernung, die das Licht in einem Jahr zurücklegt. Da die Geschwindigkeit des Lichts fast 300 000 Kilometer pro Sekunde beträgt, überbrückt das Licht in einem Jahr eine Entfernung von 9 500 000 000 000 oder 9,5 Billionen Kilometern. Auf dieser Basis werden die Entfernung zu unserem Mond, rund 384 000 km, von einem Lichtstrahl in etwas mehr als einer Sekunde und die Strecke von der Sonne zur Erde in 8,5 Lichtminuten zurückgelegt. Für die Entfernung bis zum äußersten Planeten unseres Sonnensystems, Pluto, benötigt das Licht etwa 6 Stunden.

Die *Planeten* sind Wandelsterne, die ihren Standort laufend ändern. *Fixsterne* verändern ihren Standort so langsam, daß sie für unsere Augen festzustehen scheinen. Es sind Sonnen wie unsere Sonne. Der uns nächstliegende Fixstern wäre unsere Sonne. Der darauf folgende, der Stern Alpha Centauri, liegt 4,3 Lichtjahre entfernt und, wie es ein Astronom formulierte, zurück. Ein bekanntes Beispiel dafür, daß Lichtjahre angeben, wie weit etwas entfernt und zurück liegt, ist der Stern

Unter den Sternbildern bzw. den Gestalten, die Menschen in den Sterngruppierungen zu sehen glauben, sind die des Tierkreises sehr wichtig. Wegen der kreisähnlichen Bewegungen der Erde um die Sonne konnte man sehen, wie die Sonne sich jedes Jahr nach und nach an diesen zwölf Sternbildern vorbeibewegt; jeden Monat zieht sie an einem von ihnen vorüber. Früher schrieben Astrologen diesen Sternbildern eine besondere Bedeutung zu und verbanden sie mit irdischen Ereignissen.

Rigel: Er liegt 650 Lichtjahre entfernt und zurück, d. h., Astronomen sehen heute das, was er am Anfang des 14. Jahrhunderts war. Die Sterne, die wir nur durch große Teleskope sehen können, sind Tausende und Abertausende von Lichtjahren – räumlich und zeitlich – von uns entfernt; kein Wunder, daß unsere Sonne mit ihrer 8,5 Lichtminuten betragenden Entfernung im Vergleich so groß aussieht!

In weit zurückliegenden Zeiten bemerkten die Menschen erstmals, daß gewisse Konfigurationen und Gruppierungen von Sternen sich anscheinend nicht ändern und sich in geordneter Weise über den Himmel hinbewegen. Sie gaben den Sterngruppierungen, die am Himmelsgewölbe am hellsten leuchteten, symbolische Namen und verbanden ihre Muster mit den Gestalten von Tieren, mythischen Ungeheuern und Göttern. Diese Gruppierungen sind die *Sternbilder,* die ihre symbolischen Namen und auch ihre Beziehung zueinander sogar auf unseren modernen Himmelskarten behalten haben. Sie werden nur nicht mehr so bildhaft dargestellt wie auf den Karten früherer Jahrhunderte, wo sie phantasievoll in leuchtenden Farben gezeichnet wurden. Tatsächlich gibt es keine wissenschaftliche Begründung für diese Vorstellung von den Sternbildern. Sie sind keine „wirklichen" Gruppierungen, sondern lediglich unseren Augen auffallende Zusammenstellungen, die unsere Phantasie anregen wegen der begrenzten Perspektive von unserem kleinen Planeten aus. Die Sterne stehen nicht still. In mehreren hunderttausend Jahren wird der Große Bär den Menschen auf der Erde ganz anders erscheinen als heute.

Die Galaxien und das Sternsystem, zu dem unsere Sonne gehört

In klaren, mondlosen Nächten sieht man am Himmel ein schwach leuchtendes Lichtband, das sich von Horizont zu Horizont erstreckt. Dieser Strom von blasser Schönheit ist die *Milchstraße,* die nach antiken Vorstellungen aus „Milch" (griechisch gála, gálaktos) besteht, die die Göttin Hera verschüttet haben soll, als sie ihr Kind stillte. Tatsächlich resultiert die blaßweiße Erscheinung der Milchstraße aus dem gemischten Licht von vielen Sternen, die weit voneinander entfernt liegen und als solche nicht ohne die Benutzung eines Teleskops wahrnehmbar sind. Alle diese Sterne liegen durchschnittlich 6 Lichtjahre auseinander. Sie bilden nur darum ein Lichtband, weil wir sie aus einer bestimmten Perspektive sehen.

Vom Weltraum aus betrachtet, sieht unser Sternsystem wie eine gigantische Linse aus – oder wie zwei Teller, Rand auf Rand gesetzt, die einen runden, scheibenförmigen Körper mit einer ausgeprägten Auswölbung in der Mitte bilden. Die Sonne mit all ihren Planeten und die Sterne, die wir am Firmament erblicken, bilden einen Teil dieses Systems, das auch als *Galaxie* bezeichnet wird. Nicht ein einziger von all den Sternen, die nachts leuchten, fehlt darin, unabhängig davon, wie vereinzelt er dazustehen scheint. Dies ist leichter verständlich, wenn man die Milchstraße mit einem jener Frühnebel vergleicht, die sich auf den Wiesen bilden und die so dünn sind, daß sie nicht einmal die Baumwipfel erreichen. Wenn wir in einem solchen Frühnebel spazierengehen, liegt alles um uns herum in grauer Undurchsichtigkeit, aber die winzigen Wassertropfen, aus denen der Nebel besteht, sind dennoch

Die Struktur der Galaxie oder Milchstraße, wie sie einem Beobachter erschiene, der sie von außerhalb betrachtete: links von der Seite gesehen; rechts von oben gesehen.

Rechte Seite: Das riesige Parkes-Teleskop in Australien, mit dessen Hilfe Astronomen die spiralförmige Struktur der Galaxie feststellen konnten.

weit genug auseinander, um den blauen Himmel durchscheinen zu lassen. Die Sterne ähneln diesen Wassertropfen.

Heute wissen wir, daß es 100 000 Lichtjahre dauern würde, unsere Galaxie auf ihrem Durchmesser zu durchqueren. Die „Dicke" der Scheibe beträgt zwischen 2 000 und 3 000 Lichtjahren. Unsere *Sonne* ist nur eine von rund 100 Milliarden Sternen in diesem System und befindet sich ungefähr 30 000 Lichtjahre vom Zentrum entfernt. Verloren wie ein winziger Funke in dieser Ansammlung von Sternen, kreist die Sonne samt all ihren Planeten und Satelliten um das Zentrum der Galaxie in einem Umlauf, der 226 Millionen Lichtjahre dauert.

Struktur und Zusammensetzung einer Galaxie

Wenn wir unsere Milchstraße (Galaxie) mit einer Linse oder einer Scheibe vergleichen, ist dies nur ein erster Versuch, sich aus unserer begrenzten Erdperspektive heraus ein genaueres Bild von ihr zu machen. Natürlich ist die Scheibe nicht kompakt, sondern sie ist in eine unendlich große Zahl von Sternströmen gegliedert, die vom Zentrum aus Spiralen nach außen bilden. Könnten wir von oben auf sie hinabsehen, statt sie von der Seite zu betrachten, dann gliche unsere Galaxie einem leuchtenden Wirbel oder gleichsam einem erstarrten Feuerrad, das wegen seiner gewaltigen Proportionen anscheinend unbeweglich im Weltraum „steht". In Wirklichkeit rotiert die ganze Galaxie um ihr Zentrum, nämlich diejenige Stelle, an der sich die größte Ansammlung von Sternen findet.

Rechts: Ein Beispiel für junge Sterne: die Gruppe der Plejaden (Siebengestirn), wie sie durch das Teleskop erscheint. In dem Rechteck (oben rechts) sieht man die Position dieser kleinen Gruppe im Sternbild des Stiers. Darstellung von Arvati, Verona.

Rechte Seite: Der große Orionnebel, eine prächtige Wolke aus farbigem Gas, ist die Geburtsstätte neuer Sterne.

Natürlich ist diese Spiralformation von der Erde aus nicht sichtbar, aber Astronomen konnten sie rekonstruieren, vor allem auf Grund ihrer Untersuchungen mit *Radioteleskopen;* das sind Instrumente, die die von Himmelskörpern ausgehenden Radiowellen auffangen und so die visuellen Daten der herkömmlichen optischen Teleskope, die nur Lichtwellen registrieren, ergänzen. Wolken aus extrem verdünntem Gas, hauptsächlich Wasserstoff, breiten sich entlang den Spiralen der Galaxie aus. Von dem Wasserstoff gehen elektromagnetische Wellen einer bestimmten Frequenz aus, die exakte Messungen ermöglichen. Auf diese Weise konnten Astronomen in den letzten Jahren eine *Himmelskarte* zeichnen, die die Verteilung des Wasserstoffs innerhalb des riesigen Milchstraßensystems illustriert. Obgleich diese Karte noch nicht vollständig ist, läßt sie die typische galaktische Spiralstruktur erkennen.

Außer unvorstellbar dünnen Gasen befindet sich in den Wolken, die die Spiralen der Galaxie zum Teil verdecken, auch ein sehr leichter Staub. Manche dieser Staub- und Gasformationen ähneln schwarzen Löchern zwischen den Sternhaufen, da sie das Licht der dahinterliegenden Sterne völlig verschlucken. Aber in der Nähe von großen und äußerst heißen Sternen fangen sie an zu leuchten und nehmen zarte Farbschattierungen an. Diese leuchtenden Gaswolken werden *Nebulae* oder *Nebel* genannt und sind die Geburtsstätten neuer Sterne. Die Astronomie hat festgestellt, daß neue Sterne langsam, aber stetig aus dieser interstellaren Materie geformt werden. Auf diese Weise, behauptet eine Theorie, gibt es einen Prozeß der ständigen Erneuerung in der Galaxie: Unaufhörlich entstehen junge Sterne, und ältere Sterne „vergehen", wenn der Wasserstoff in ihren „Schmelzöfen" verbraucht ist.

Die Sonne ist ein von Planeten umgebener Fixstern. Also könnte man sich fragen, ob es in unserer Milchstraße andere Planeten gibt. Heute versichern uns die Astronomen, daß dies der Fall ist. Kein Stern sieht – selbst durch das stärkste Teleskop – jemals größer aus als ein Lichtpünktchen. Infolgedessen würden alle Planeten, die um sie kreisen, ganz und gar unsichtbar sein. Trotzdem wurde ein Planet gefunden, der einen der erdnächsten Nachbarsterne umkreist: *Barnards Pfeilstern* (der nach dem amerikanischen Astronomen E. E. Barnard benannte Fixstern mit der größten bis jetzt bekannten Eigenbewegung). Kein Mensch hat diesen Planeten je gesehen, aber sein Vorhandensein wurde indirekt dadurch nachgewiesen, daß man aus einer leichten periodischen Bewegungsschwankung seiner für uns sichtbaren „Sonne", nämlich Barnards Stern, auf das Wirken einer wechselseitigen Anziehung zwischen dieser und einem noch unbekannten Begleiter schloß. Das bedeutet, daß es andere Planeten geben muß, die um andere Fixsterne bzw. Sonnen der Galaxie kreisen, und daß andere Systeme, unserem eigenen Sonnensystem ähnlich, in großer Zahl existieren könnten, nicht nur innerhalb unserer eigenen Galaxie, sondern auch jenseits ihrer Grenzen.

Die wunderbare Welt der Galaxien

Mit dem bloßen Auge können wir rund 6 000 Sterne sehen. Durch ein Teleskop kann man zu jedem dieser 6 000 mindestens 15 000 000 andere schwächer leuchtende Sterne erkennen. Die Galaxie ist so ungeheuer groß, daß man glauben könnte, alle Sterne des Universums befänden sich darin. Doch außerhalb der Galaxie, jenseits leerer Räume von fast

Links: Die Galaxie M 31 im Sternbild der Andromeda. Hier sieht man sie perspektivisch stark verkürzt in einer Entfernung von 2 300 000 Lichtjahren. Zu sehen sind die äußerlich bläulichen Spiralarme aus einer Vielzahl von Sternen mit hoher Oberflächentemperatur und der zentrale Kern, der wegen der Sternarten, aus denen er sich bildet, rotgelb leuchtet.

Linke Seite: Der sog. Krebsnebel im Sternbild des Stiers stellt die Überreste einer kosmischen Explosion im Jahre 1054 dar. Es handelte sich um eine Supernovaexplosion, bei der ein Stern zerstört wurde.

unglaublichen Dimensionen, befinden sich Milliarden von anderen Galaxien. Und jede Galaxie besteht aus Millionen und Abermillionen von Sternen! So weit das stärkste Teleskop reicht, erblickt der Astronom eine nicht enden wollende Zahl von Galaxien. Man hat ausgerechnet, daß mit dem 500-cm-Teleskop auf dem Mount Palomar mindestens 10 Milliarden andere Galaxien gesehen und fotografiert werden können.

Wenn man unsere Milchstraße verlassen könnte, würde man nicht mehr einen Himmel voller Sterne und Sternbilder erblicken. Statt dessen könnte man die riesigen Spiralarme der Galaxie bewundern, wo unsere Sonne und ihre Planeten kreisen. Und um diese Herrlichkeit herum würde man seltsame Dinge wahrnehmen: dichte Sternhaufen, fast so kompakt wie ein Ball. Diese Sternansammlungen werden als *Kugelhaufen* bezeichnet; sie umhüllen unsere Milchstraße wie ein Hof (Halo). Jenseits und oberhalb dieses Halos, die Riesenspirale sozusagen unter uns, würden wir um uns herum nichts mehr wahrnehmen als eine furchterregende, alles durchdringende Dunkelheit. Trotzdem würde man bei genauem Hinsehen sogar noch in dieser unvorstellbaren Finsternis ein paar schwach leuchtende Lichtpunkte erkennen können; dies wären dann die uns nächstliegenden Galaxien.

Die Entfernungen zwischen den einzelnen Galaxien liegen außerhalb unseres Vorstellungsvermögens. Man könnte die Galaxien mit gewaltigen Städten vergleichen, die durch unendlich weiter ausgedehnte, gänzlich unbewohnte Wüsten voneinander getrennt sind. Selbst die

Leo II
Leo I
Magellansche Wolken
NGC 6822
Sculptor
Fornax
NGC 147
NGC 185
M 31
NGC 205
M 32
M 33
Wolf-Lundmark
IC 1613

größten Wüsten unserer Erde haben hier und da Oasen, aber in Wüsten, wie wir sie uns hier vorzustellen haben, gäbe es absolut gar nichts mehr. Der britische Astronom Sir William Herschel, der im 18. Jahrhundert lebte, nannte die Galaxien „Welteninseln". Dies gibt uns eine Ahnung von ihrer Größe und Verteilung im Weltall.

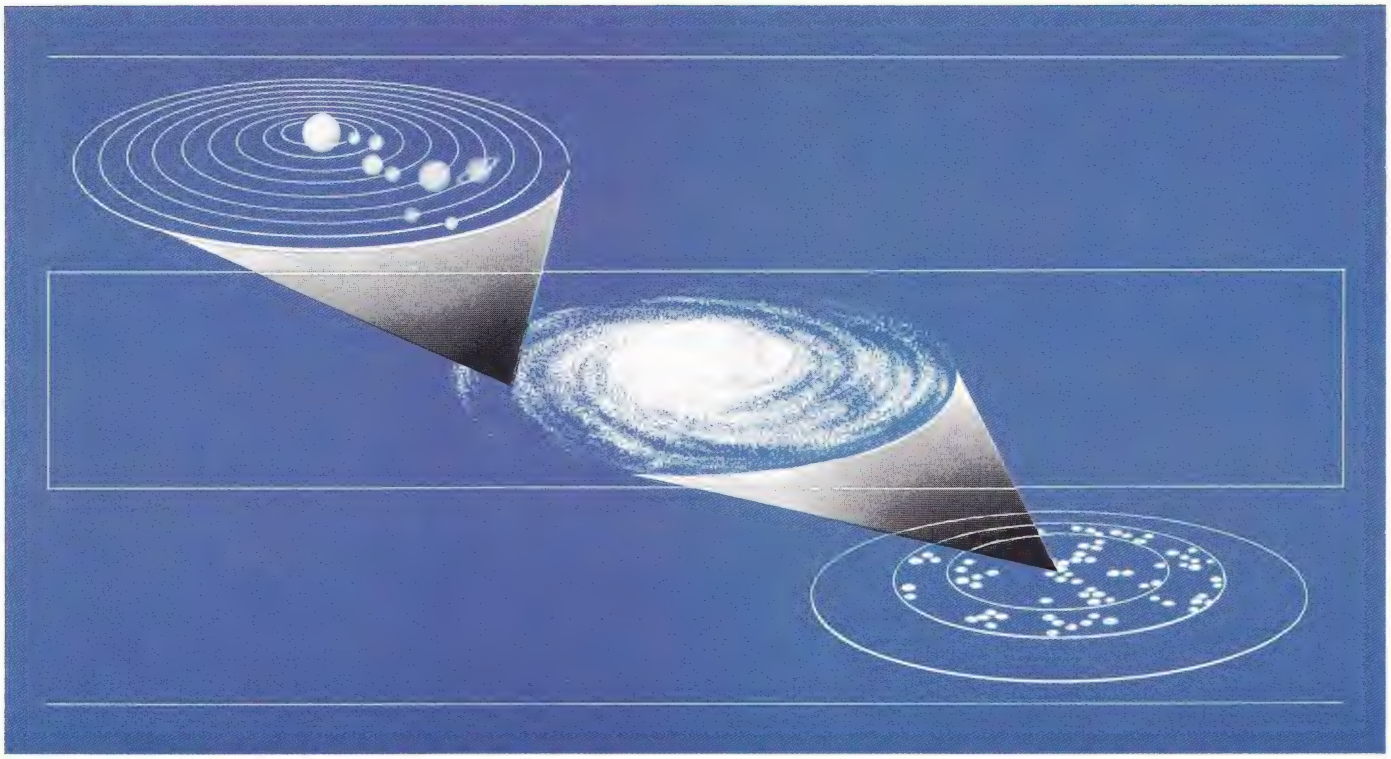
Die schönste unter den Außengalaxien in der Nähe unserer eigenen Milchstraße wird durch das Symbol *M 31* bezeichnet und ist sogar für das bloße Auge als ein nebelhaft leuchtender Stern wahrnehmbar. Es ist die einzige Galaxie, die ohne Teleskop von der Erde aus zu erkennen ist (mit Ausnahme von zwei sehr kleinen Galaxien, die aber Satelliten unserer Milchstraße sind). Das Licht von M 31 benötigt ungefähr 2 300 000 Lichtjahre, um uns zu erreichen. Diese Außengalaxie ist eine prachtvolle Spirale, die, von der Erde aus gesehen, elliptisch und sehr flach erscheint. Sie ähnelt unserer eigenen Galaxie, ist aber viel größer. Es gibt auch dort Kugelsternhaufen, Sternwolken und mehr als 100 Milliarden Einzelsterne.

Linke Seite: Die Galaxien in der „lokalen Gruppe", wie sie ein Beobachter von außerhalb sehen würde. Rechts in der Abb. sieht man die Galaxie, der unsere Sonne angehört. Sie ist von ihren Satellitengalaxien, den Magellanschen Wolken, begleitet. Links zum Rand hin sieht man die Spiralnebel von M 31, die große Galaxie im Sternbild der Andromeda.

Unten: Diese Zeichnung soll eine Vorstellung von den Dimensionen des Kosmos vermitteln. Oben sieht man unser Sonnensystem, das von Lichtstrahlen in ein paar Stunden durchquert wird. Es stellt nur eine kleine Staubwolke in unserer Milchstraße dar (Mitte der Abb.), deren Durchmesser rund 100 000 Lichtjahre beträgt. Unsere Milchstraße wiederum ist nur eine Handvoll Staub im Universum der Galaxien (Abb. unten).

Die Fluchtbewegungen der Galaxien in den Tiefen des Weltraums

Trotz des riesigen Abgrundes, der uns trennt, ist M 31 mit unserer eigenen Milchstraße und mit anderen, kleineren Galaxien, die fast alle näher liegen, durch Schwerkraft verbunden. Unter diesen gibt es auch Satellitengalaxien, kleine Systeme in relativer Nähe von größeren, mit denen sie etwa in der Art von Sternhaufen verbunden sind. Unsere eigene Galaxie hat zwei solcher Satelliten. Sie sind auch ohne Teleskop von der südlichen Halbkugel der Erde aus sichtbar und sehen aus wie zwei leuchtende Flecken, nicht weit entfernt von unserer Milchstraße. Sie wurden von dem Weltumsegler Ferdinand Magellan zum ersten Mal



Rechts: Diese gewaltige Kuppel befindet sich auf dem Gipfel des Mount Palomar in Kalifornien. Sie beherbergt das größte Spiegelteleskop der Welt mit einem Spiegeldurchmesser von 500 cm. In diesem Bild sehen wir die Kuppel halb geöffnet mit dem Teleskop im Inneren. Das Mount-Palomar-Teleskop hat bedeutende Dienste geleistet bei der Erforschung weiter entfernt liegender Galaxien.

beschrieben und werden darum die *Magellanschen Wolken* genannt. Dieser ganze wunderbare Komplex von Sternsystemen, die sich um einen gemeinsamen Schwerpunkt drehen, wird als *lokale Gruppe* bezeichnet und umfaßt insgesamt knapp 30 Galaxien; aber um diese zu durchqueren, benötigt ein Lichtstrahl rund 5 Millionen Jahre!

Diese lokale Gruppe ist nicht das einzige Beispiel für eine Ansammlung von Galaxien; sie ist nicht einmal eines der bedeutenderen Beispiele. Galaxien neigen dazu, als Haufen aufzutreten, von denen viele aus mehr als hundert – manchmal auch mehreren hundert Teilen bestehen. Lichtstrahlen benötigen eine ungeheuer lange Zeit, um uns von diesen Galaxienhaufen aus, die draußen verloren im All liegen, zu erreichen. Weil manche von ihnen mehrere hundertmillionen Lichtjahre von uns entfernt sind, sehen wir sie so, wie sie waren, als es noch keine Menschen auf der Erde gab. Andere, noch weiter draußen liegende Galaxien sind Milliarden von Lichtjahren von uns entfernt.

Es ist einfach erstaunlich, daß fotografische Platten in den großen Teleskopen Lichtstrahlen registrieren können, die ihre Reise vor 5 oder 6 Milliarden Jahren angetreten haben, als unsere Erde vermutlich noch gar nicht existierte. Aber fast noch erstaunlicher ist die Entdeckung, daß jene weit entfernten Galaxien sich mit einer beängstigend hohen Geschwindigkeit von uns wegbewegen. Als die Astronomen dies vor mehreren Jahrzehnten entdeckten, wurden sie sofort mit einer verwirrenden Anzahl neuer Probleme konfrontiert. Das Universum wurde plötzlich zu einer wirbelnden Vision, in welcher die Milchstraßensysteme durch einen galaktischen Sturm ins Nichts gefegt wurden.

Rechte Seite: Würden wir Punkte auf einen Luftballon malen und ihn dann aufblasen, könnten wir beobachten, wie die Punkte sich immer weiter voneinander entfernen. Entsprechend ist es mit den Galaxien, die sich in den ungeheuren Weiten des Weltraums immer weiter voneinander wegbewegen. Der von einem Kreis umschlossene Punkt in der Mitte des Ballons bezeichnet unsere Milchstraße. Dem Anschein nach ist er ein Zentrum der Abstoßung; betrachten wir aber die anderen Punkte, dann bemerken wir, daß sie denselben täuschenden Effekt vermitteln.

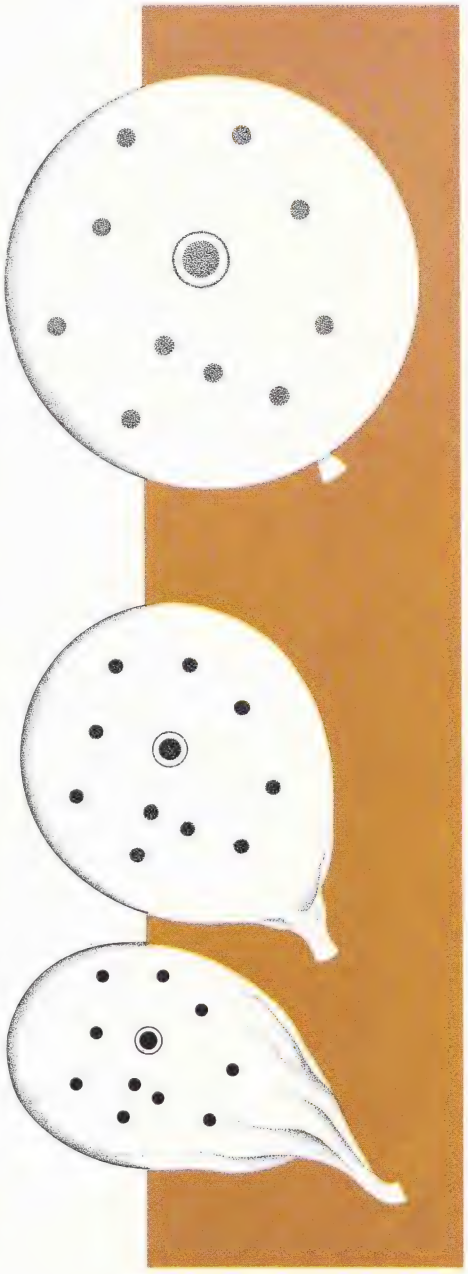
Das sich ausdehnende Universum und die Quasare

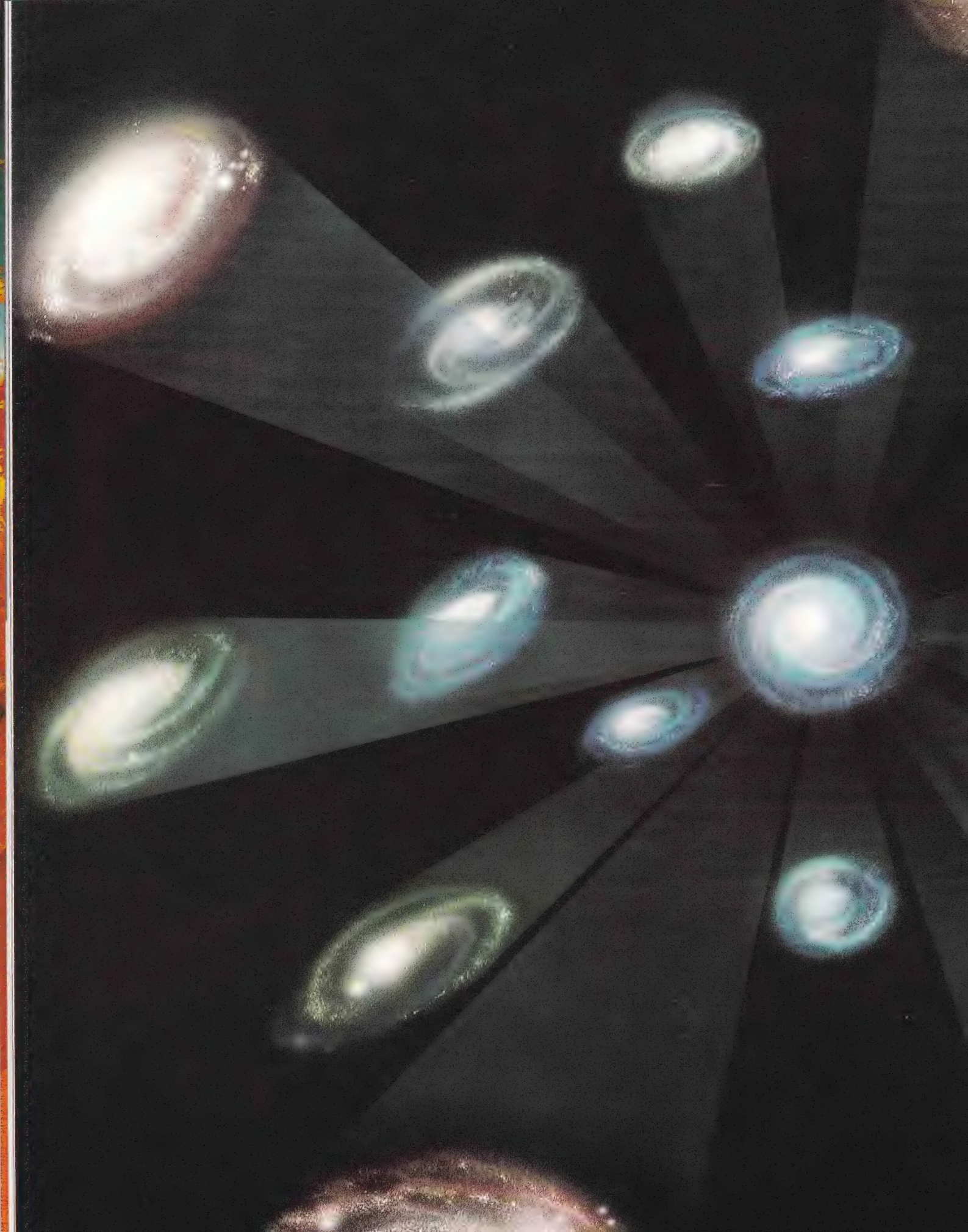
Die zeitgenössische Astronomie hat uns gelehrt, daß die Galaxien sich mit Geschwindigkeiten voneinander wegbewegen, die um so größer werden, je weiter sie sich voneinander entfernen. Zahlen und Messungen, die sich auf äußerst sorgfältige Beobachtungen stützen, belegen dieses Phänomen sehr deutlich. So bewegt sich ein Galaxienhaufen im Sternbild der Jungfrau – in einer Entfernung von 43 Millionen Lichtjahren – mit einer Geschwindigkeit von 1 200 Kilometern pro Sekunde von uns weg. Ein anderer Galaxienhaufen, der jenseits der Sterngruppe Hydra liegt – in einer Distanz von etwa 1 960 Lichtjahren – entfernt sich von unserer Erde mit einer Geschwindigkeit von 60 000 Kilometern pro Sekunde.

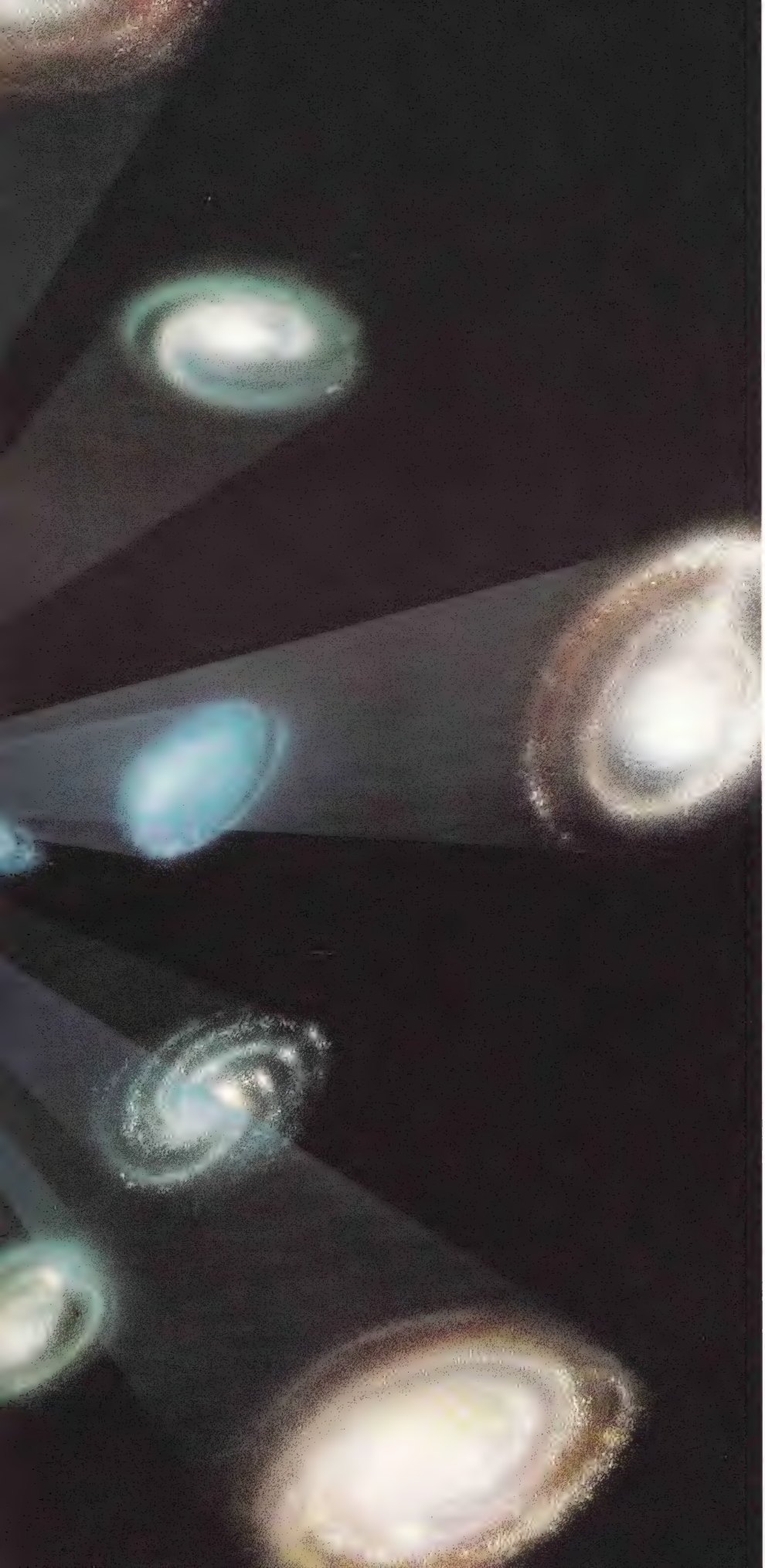
Um verstehen zu können, wie die Fluchtbewegungen der Galaxien festgestellt wurden, ist es vielleicht nützlich, sich an manche Experimente aus dem Bereich der Schallwellen zu erinnern. Wir haben wahrscheinlich alle schon Autorennen selbst erlebt oder sie im Fernsehen verfolgt. Wenn sich uns ein schnellfahrender Rennwagen nähert, ist der Lärm, den er erzeugt, fast unerträglich laut, wie ein schriller Schrei, aber das Geräusch klingt ab, sobald er sich von uns entfernt. Was geschieht? Vor dem schnell heranbrausenden Auto werden die Schallwellen zusammengedrängt, also werden sie kürzer, und das Geräusch wird schriller. Hat uns das Auto passiert, dehnen sich die Schallwellen hinter ihm aus, werden also länger, und das Geräusch klingt ab, es verliert an Intensität.

Jetzt denken wir an die *Lichtwellen,* die von den Galaxien ausgestrahlt werden, und erinnern uns daran, daß ein blaues Licht von Wellen erzeugt wird, die kürzer sind als diejenigen, die ein rotes Licht erzeugen. Stellen wir uns eine Galaxie vor, die sich uns mit raschem Tempo nähert. Ihre Lichtwellen ziehen sich zunehmend zusammen und werden kürzer, so daß das Licht zunehmend blau wird. Nun stellen wir uns eine Galaxie vor, die sich rasch von uns entfernt. Die Wellen, die hinter ihr zurückbleiben, strecken sich und werden länger, so daß das Licht rot wird. Dieses ist das Phänomen der sogenannten „Rotverschiebung". Das Ganze ist natürlich viel komplizierter, als wir es uns soeben ausmalten, aber das Grundprinzip ist das gleiche. Durch eine Spektralanalyse der Galaxien, die deren Lichtspektren mißt und das Verhalten der Spektrallinien analysiert, konnten die Astronomen die Fluchtgeschwindigkeiten vieler Galaxien feststellen.

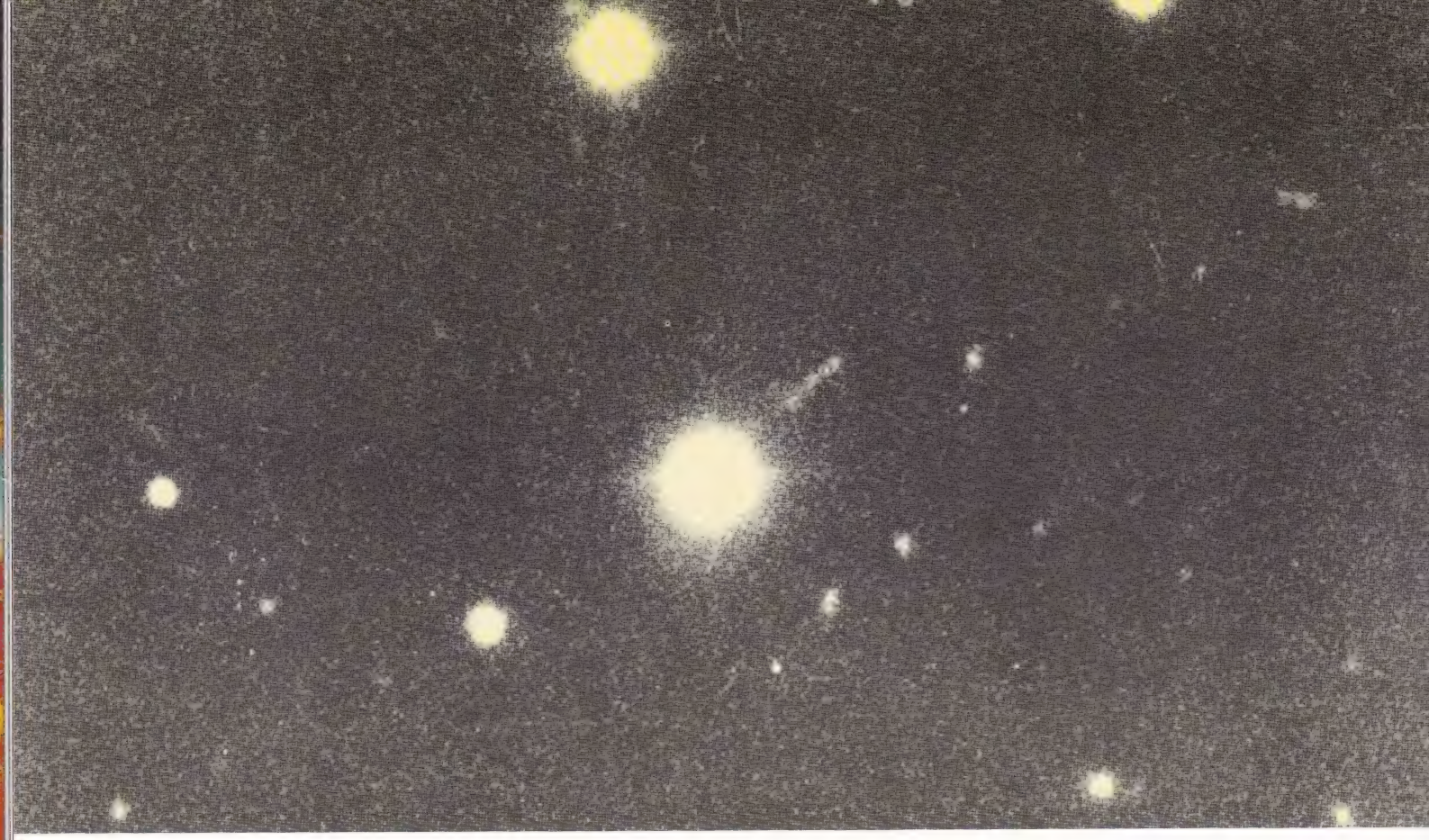
Stellen wir uns vor, wir hielten einen leicht aufgeblasenen Luftballon. Jetzt malen wir viele schwarze Punkte dicht nebeneinander auf den Ballon. Stellen wir uns weiter vor, daß alle diese Punkte Galaxien seien; dann ziehen wir einen Kreis um einen von ihnen. Das stellt dann unsere Galaxie dar. Jetzt blasen wir den Ballon so weit auf, daß er beinahe platzt. Während wir ihn aufblasen, können wir verfolgen, wie sich die „Galaxien" voneinander entfernen. Wenn wir unsere Galaxie im Auge behalten, wird es uns so vorkommen, als ob alle anderen Punkte sich von diesem Punkt entfernen, wobei diejenigen, die weiter weg liegen, sich schneller bewegen. Dieser Punkt sieht dann aus wie das Zentrum der Abstoßung, das alle anderen Punkte mit einem immer schneller werdenden Tempo auseinandertreibt. Betrachten wir aber einen anderen Punkt, dann sehen wir von jenem Punkt aus das gleiche. Alle Punkte scheinen voreinander zu fliehen, weil der Ballon schnell aufgeblasen wird. Selbst dieses Experiment hat nur Annäherungscharakter; denn wir versuchen etwas zu begreifen, das in den drei Dimensionen des Raums stattfindet, indem wir die zweidimensionale Oberfläche eines Ballons betrachten.







Hier ist die endlose Weite des Universums mit den auseinanderfliehenden Galaxien dargestellt. Unsere eigene Milchstraße setzen wir mitten ins Bild. Die Galaxien bewegen sich voneinander und daher auch von uns weg, und zwar mit einer Geschwindigkeit, die um so größer wird, je weiter sie sich voneinander entfernen. Je schneller ihre Fluchtbewegungen sind, desto röter werden ihre Lichtwellen.



Stark vergrößerte Aufnahme eines der etwas heller leuchtenden bekannten Quasare. Diese Aufnahme wurde auf dem Mount Palomar gemacht.

In unserem wunderbaren, sich ausdehnenden Universum entdeckten die Astronomen im Jahre 1962 einige sternähnliche Objekte, die noch seltsamer waren als die Galaxien. Einige dieser Himmelskörper senden außerordentlich starke Radiowellen aus. Sie tun dies jedoch nicht fortwährend, und nur in einigen Fällen werden die Lichtwellen, die diese Himmelskörper außerdem noch aussenden, von den größten optischen Teleskopen aufgefangen. In der Astronomie werden solche Objekte *Quasare* genannt (eine Kurzbezeichnung aus „quasistellare Radioquellen"). Heute weiß man allerdings, daß viele von ihnen gar keine Radiowellen aussenden. Trotz ihrer schwachen Sichtbarkeit leuchten Quasare so hell wie Dutzende von Galaxien und erzeugen dieselbe Energie wie 10 Billionen Sonnen.

Es scheint, daß die Quasare die Grenzen darstellen, die die Astronomie bisher in der Erforschung des Weltraums erreicht hat. In jenen weit entfernt liegenden Bereichen des Universums bewegen sie sich mit Geschwindigkeiten, die größer sind als die eines Sterns. Nach Messungen, die 1970 gemacht wurden, ist der am weitesten entfernte Quasar mehr als 8 Milliarden Lichtjahre von uns entfernt. Das heißt, daß nicht nur die Radiowellen, die wir jetzt empfangen, mehrere Milliarden Jahre vor der Entstehung der Erde und unseres Sonnensystems ausgesandt wurden; sie bezeichnen darüber hinaus den Punkt der größten zeitlichen Annäherung an den Ursprung des Universums, den Wissenschaftler bisher erreichten. Die wenigen Informationen über die Quasare, die die Wissenschaftler bisher zusammenstellen konnten, bergen jedoch noch so viele Rätsel, daß es bis jetzt keine völlig zufriedenstellende Erklärung für diese Superobjekte gibt.

Wie das Universum, die Galaxien und die Sterne entstanden

Die Entstehung des Universums und die Urknalltheorie

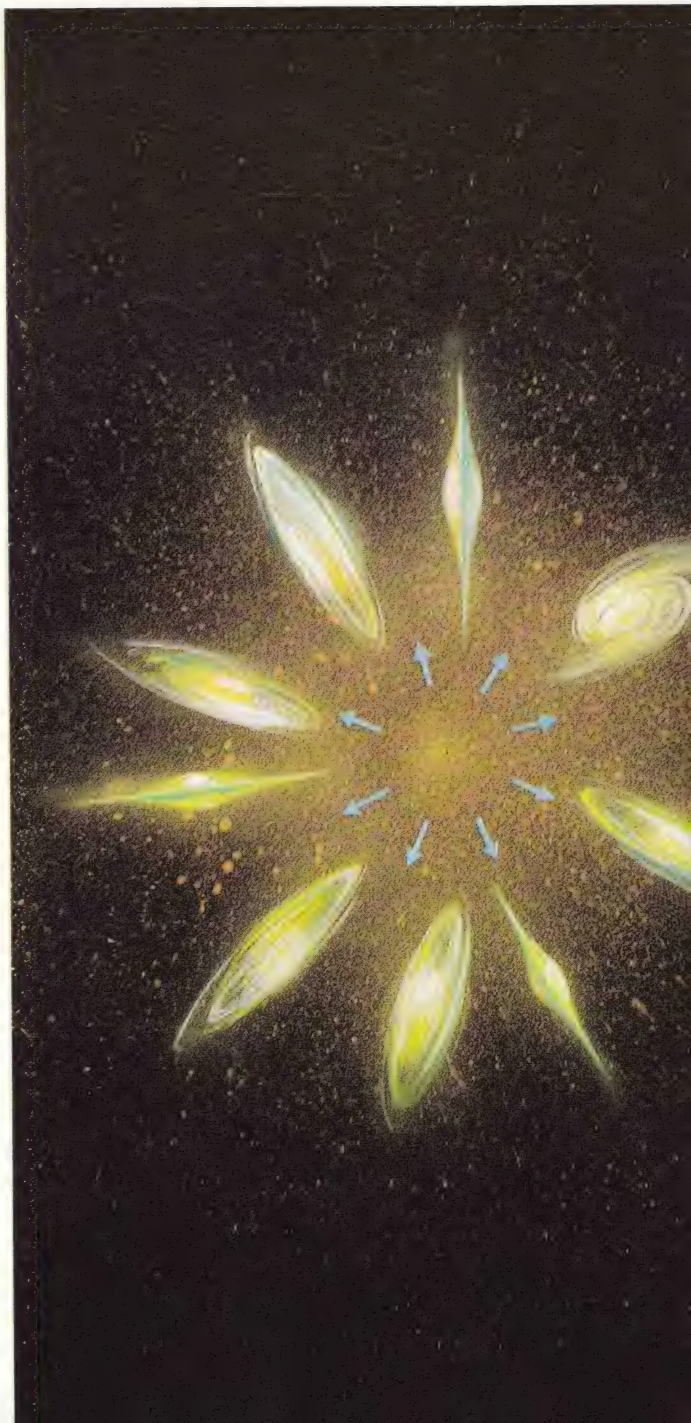
Wir haben das Innere der Erde, ihre atmosphärische Hülle, unser Sonnensystem, unsere Milchstraße, das System der Galaxien und das Universum bis hin an die Grenzen unseres heutigen Wissens durchstreift. Nun ist es Zeit zu fragen: Wie fing alles an? Was macht die Wissenschaft mit den Unmengen von Daten, die mit all den hochentwikkelten modernen Instrumenten und Arbeitsverfahren gewonnen wurden?

Stellen wir uns wieder jenen Ballon mit den Punkten vor, die die Galaxien darstellen. Während er aufgeblasen wurde, entfernten sich die Punkte voneinander, wie wir bereits sahen. Vorher jedoch lagen alle Punkte viel näher beieinander. So etwa müssen wir uns die Galaxien in dem sich ausdehnenden Universum vorstellen. Es ist anzunehmen, daß all die vielen Tausendmillionen von Sternsystemen vor Milliarden von Lichtjahren viel näher beieinander gelegen haben. Wenn wir diesen Gedanken zeitlich zurückverfolgen, immer weiter in die Vergangenheit zurück, werden wir zwangsläufig zu dem Schluß kommen, daß es einen Augenblick gegeben haben könnte, in dem alle Galaxien eins waren. Science-fiction? Phantasie? Jedenfalls bildet diese Vorstellung die Basis der von vielen vertretenen Erklärung für den Ursprung des sich ausdehnenden Universums: der *Evolutionstheorie (Urknalltheorie).* Nach dieser Theorie gab es einen Augenblick in einer außerordentlich weit zurückliegenden Vergangenheit, in dem alle Materie, die jetzt über die Galaxien hin verstreut liegt, und alle Strahlungen, die jetzt den Weltraum durchqueren, in einem einzigen Komplex bei extrem hoher Dichte und Temperatur vereinigt waren. Einer der frühesten Verfechter einer Urknallkosmologie, der Abbé Georges Lemaître, ein zeitgenössischer belgischer Astronom, stellte sich das Universum am Anfang seiner Evolution als einen hochkomprimierten, homogenen Zustand der Materie vor, den er das *Uratom* nannte. Der amerikanische Physiker George Gamow, ebenfalls ein Verfechter der Urknalltheorie, schlägt statt dessen vor, vom *Urkern* zu sprechen; dies sei die bessere Bezeichnung. Andere Wissenschaftler wiederum reden dramatischer vom „ursprünglichen Feuerball".

Es ist faszinierend zu sehen, daß diese wissenschaftliche Theorie sowohl philosophischen als auch mystischen Ursprungs ist. Wir brauchen nur an die Schöpfungsgeschichten aus der frühen Mythologie zu denken, an Platons Timäus und an die detaillierte Beschreibung der Schöpfung in der Genesis, um eine Verwandtschaft zwischen den frühesten Vermutungen und Glaubensvorstellungen der Menschheit und der heutigen Kosmologie zu erkennen:

„Am Anfang schuf Gott Himmel und Erde.
Und die Erde war wüst und leer,
und es war finster auf der Tiefe ...
Und Gott sprach: Es werde Licht! Und es ward Licht."

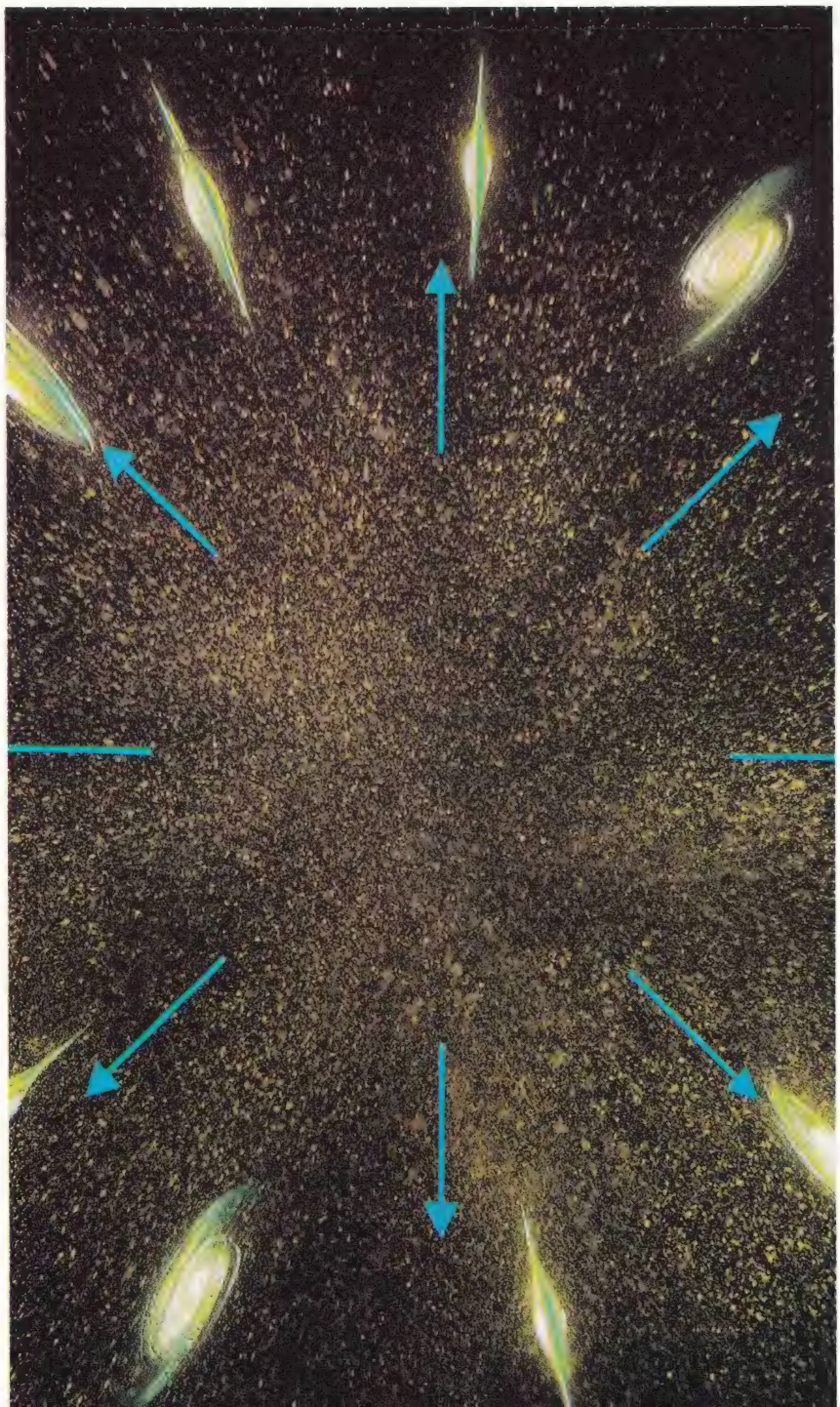
Im Inneren des Superatoms, Superkerns oder Feuerballs der Urknallverfechter befanden sich lediglich Elementarteilchen – Elektronen,



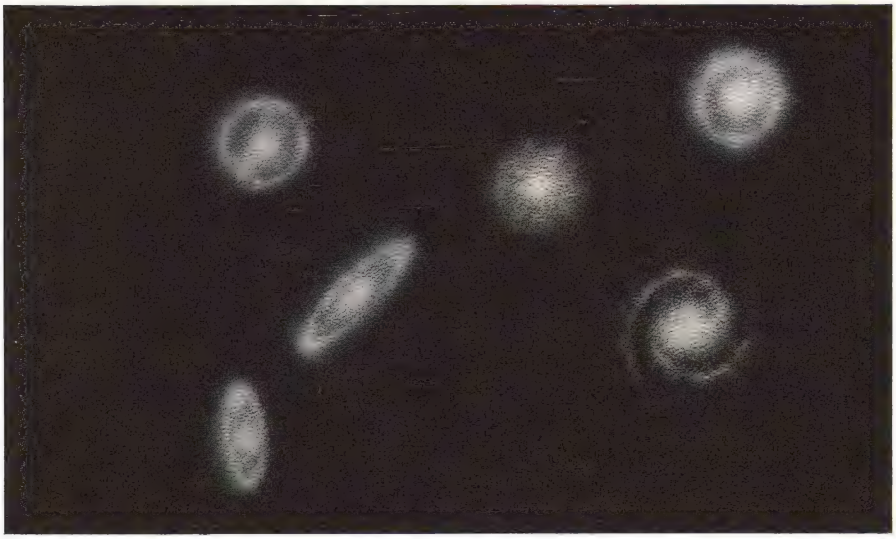
Neutronen und Protonen. Es gab noch keines der Elemente der Materie, die heute bekannt sind. Im Zentrum des Balls erreichte die Hitze 15 Milliarden °C. Diese Hitze brachte die Teilchen in Bewegung. Sie bewegten sich mit extrem großen Geschwindigkeiten und stießen heftig zusammen. Diese gewaltsamen Zusammenstöße verhinderten die Bildung von Kernen und Atomen.

Der Urknall und die Geburt der Galaxien

Ein solch unvorstellbar heißer und dichter Ball von Materie konnte nicht länger als etwa den milliardsten Teil einer Sekunde überdauern. Druck und Temperatur im Inneren des Balls bewirkten, daß er sich sofort ausdehnte, und zwar so rapid, daß man viel eher von einer ungeheuren



Wie das Universum in seinem jetzigen Zustand nach der Urknalltheorie entstanden ist. Die Bilder stellen die Ausgangsexplosion (Abb. links) und die darauffolgenden Fluchtbewegungen der Galaxien dar (Mitte und rechts). Nach dieser Theorie ist der gegenwärtige Zustand des Universums das Ergebnis einer ungeheuren Urexplosion.



Die Entstehung der Galaxien. In der ungeheuren Wolkenmasse, die nach der Anfangsexplosion übrigblieb, bildeten sich allmählich Gasansammlungen (oben) und verdichteten sich durch fortschreitende Kondensation (Mitte) langsam zu den Galaxien, die sich heute durch das Weltall bewegen (unten).

Explosion reden kann, die hier stattfand. Diese Explosion war eben dieser Urknall, dessen Nachwirkungen im Universum noch immer wirksam sind. Innerhalb weniger Sekunden nahmen Temperatur und Dichte stark ab. Eine Sekunde nach der Explosion selbst fiel die Temperatur bis auf etwa 10 Milliarden °C ab, und der Durchmesser des Feuerballs dehnte sich auf das Zehnfache.

Einige Minuten später hatte der Ball bereits einen mehr als 100mal größeren Durchmesser als ursprünglich, und die Temperatur war auf einige Millionen °C abgefallen. Innerhalb der nächsten halben Stunde etwa, während die Temperatur immer weiter fiel, verschmolzen Neutronen und Protonen zu Kernen und bildeten die Elemente: zuerst Deuterium und Helium, danach die schwereren Elemente, die heute die Materie ausmachen, aus der unsere Sonne, die Erde, die Planeten und die Sterne zusammengesetzt sind. Während der nächsten 30 Millionen Jahre – nach George Gamow – geschah nicht mehr viel, außer daß das heiße Gas sich weiter ausdehnte und während dieses Vorgangs bis auf 1 000 °C abkühlte.

Physiker haben herausgefunden, daß, wenn die Moleküle oder Aggregate von Atomen in einem Gas durch einen unbegrenzten Raum verbreitet werden und den Gesetzen der Schwerkraft unterworfen sind, dieses Gas unbeständig ist und sich in einzelne Riesenwolken zerteilt. Genau dies ereignete sich 30 Millionen Jahre nach dem Urknall mit jener kosmischen Staub- und Gaswolke. Zuerst wurden die Atome durch die Strahlungsenergie, die von dem sich ausdehnenden Feuerball freigesetzt wurde, umhergestoßen. Als dann aber diese Energie nachließ, fanden Zufallskondensationen von Gas und Staub statt. Die durch diese Zufallsgruppierungen zusammengeführten Materieteilchen folgten dem Gesetz der Schwerkraft; sie zogen also immer mehr Staub und Gas an sich und ballten sich zu einer immer dichter werdenden Masse zusammen. Danach zerteilte sich die eine kosmische Wolke in viele Einzelwolken. Die Wolkenmassen waren kalt und dunkel und wurden wie die Galaxien heute von der Wucht der Ausgangsexplosion weiter durch den Weltraum getrieben.

Im Inneren dieser Wolkenmassen gab es eine extreme Turbulenz, und es bildeten sich Wirbel – ein Phänomen, das leicht zu veranschaulichen ist, wenn man Rauch in einen begrenzten Raum einführt und ihn einer schnellen Luftströmung aussetzt. Vereinfacht man die allgemein anerkannte Theorie des deutschen Astrophysikers Carl Friedrich Freiherr von Weizsäcker, dann geschah hierauf folgendes: Die Wirbel aller Größen verdichteten sich und zogen sich in den Schwerefeldern, die sich innerhalb der dunklen Galaxien befanden, weiter zusammen, bis sie zu dichten Kugeln geworden waren. Jede Kugel stellte dabei so etwas wie eine Miniaturnachbildung des Urgasballs dar. Während des Verdichtungsvorgangs stieg die Hitze innerhalb der Kugeln ständig an und erreichte schließlich eine Temperatur, die thermonukleare Reaktionen ermöglichte. Hitzewellen und dann sichtbare Lichtwellen strömten aus den Kugeln. Ihre Massen fingen an zu leuchten, und die Sterne, die wir um uns herum erblicken, wurden geboren.

Dies ist nun eine knapp zusammengefaßte Darstellung der Urknalltheorie. Viele Fragen und Einwände blieben zwangsläufig in diesem Zusammenhang unbeantwortet. Gleichwohl sind wir jetzt bereit, den nächsten Schritt zu tun. Wir wollen uns auf die Frage nach der Entwicklung unserer Sonne und unseres eigenen Planeten konzentrieren.

Eine Aufnahme des schönsten Kugelsternhaufens des Firmaments. Er befindet sich im Sternbild des Herkules. Untersuchungen der Sterne in diesem Kugelhaufen lieferten uns Anhaltspunkte für das Alter des Universums.

Das Alter des Universums

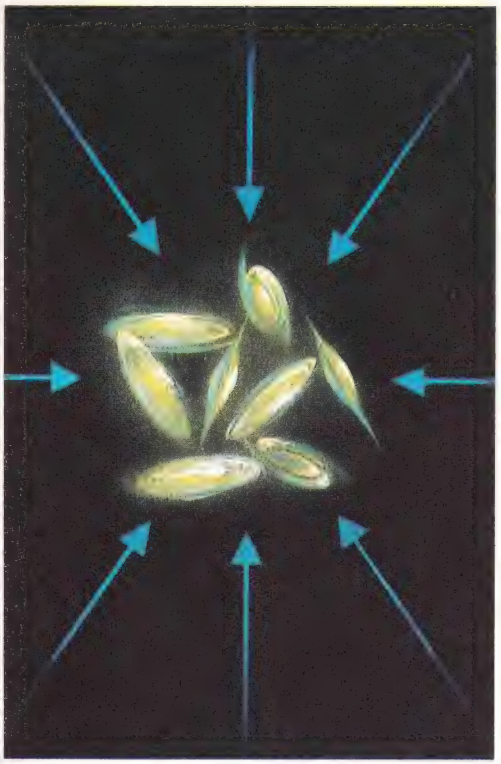
Wie kann man das Alter des Universums ermitteln? Dies ist ein Problem, das die Astronomen in den letzten Jahrzehnten fasziniert hat. Man hat verschiedene Methoden angewandt. Zum Beispiel versuchte man, eine *kosmische Zeittafel* zu entwerfen, der die gegenwärtige Verteilung der Galaxien und die Geschwindigkeit, mit der sie sich bewegen, zugrunde lag. Die Daten für diesen Versuch stammen aus sehr unterschiedlichen Quellen: der Spektralanalyse des Sternenlichts, um die Rotverschiebungen zu ermitteln; den Radioteleskopen mit riesigen Antennen, um Ausstrahlungen von Quasaren und anderen Bereichen im Weltraum einzufangen; Tausenden von Aufnahmen der Geographie des Himmels, aufgenommen von großen, elektronisch gesteuerten optischen Teleskopen; Raumuntersuchungen durch Raketen und unbemannte Satelliten oder Sonden sowie sorgfältigen mathematischen Berechnungen und Messungen von Astronomen, die von Riesencomputern unterstützt werden.

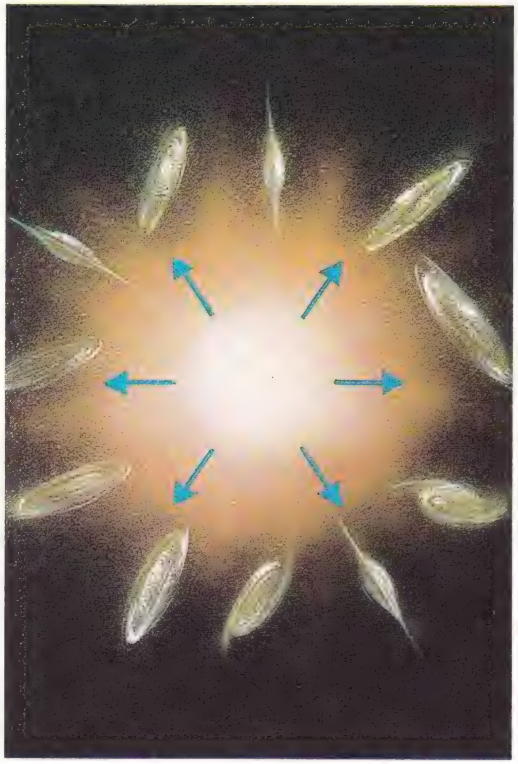
In einem anderen Versuch benutzte man die Kenntnisse von den Nuklearprozessen, die durch die Untersuchungen von radioaktiven

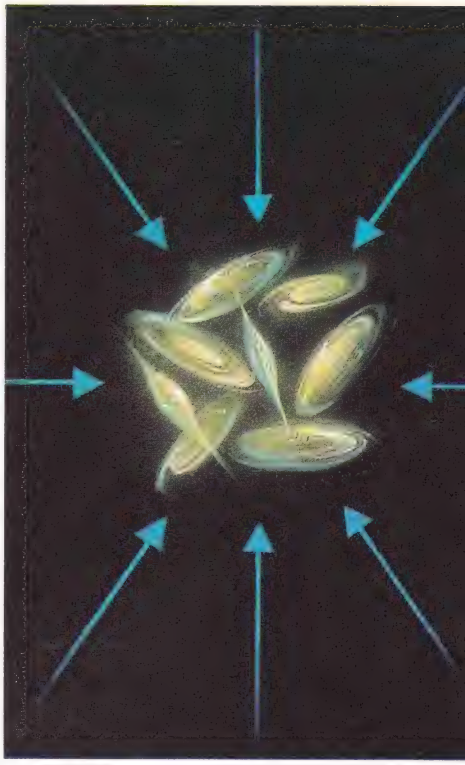
Ein weit entfernt liegender Galaxienhaufen im Sternbild der Coma Berenices. Die vielen kleinen Punkte in der Mitte des Bildes sind keine Sterne, sondern Galaxien; wir erkennen sie an ihren gestreckten Formen. Astronomen haben die Bewegung dieser ganzen Ansammlung gründlich erforscht und konnten diese Galaxien bis zum Augenblick des Urknalls zurückverfolgen.

Substanzen gewonnen wurden, und von den Techniken, die man anwendet, um die Geschwindigkeiten zu messen, mit der diese Substanzen atomar zerfallen. Spuren von radioaktiven Stoffen in Gestein und anderer Materie haben als *radioaktive Uhren* gedient, mit deren Hilfe man das Alter der Erde, des Mondes und vieler Meteoriten schätzen kann. Eine Übertragung dieser Kenntnisse auf die bekannte Zusammensetzung der Sterne und die nuklearen Vorgänge in ihnen gab uns ein Datum für das Alter unseres Stern- oder Milchstraßensystems an die Hand.

Zu welchen Schlußfolgerungen ist man gekommen? Bis vor kurzem schien es sinnvoll, das Alter des Universums mit 10 bis 12 Milliarden Jahren anzusetzen, was auch heute noch allgemein akzeptiert wird – wenn man schon so etwas wie einen „Anfang" ansetzt, unabhängig davon, wie man diesen Anfang dann darstellt oder interpretiert. Aber diese Zahlen müssen vielleicht auf 15 Milliarden Jahre und mehr korrigiert werden, wenn man z. B. an solche Entdeckungen wie die Quasare denkt.





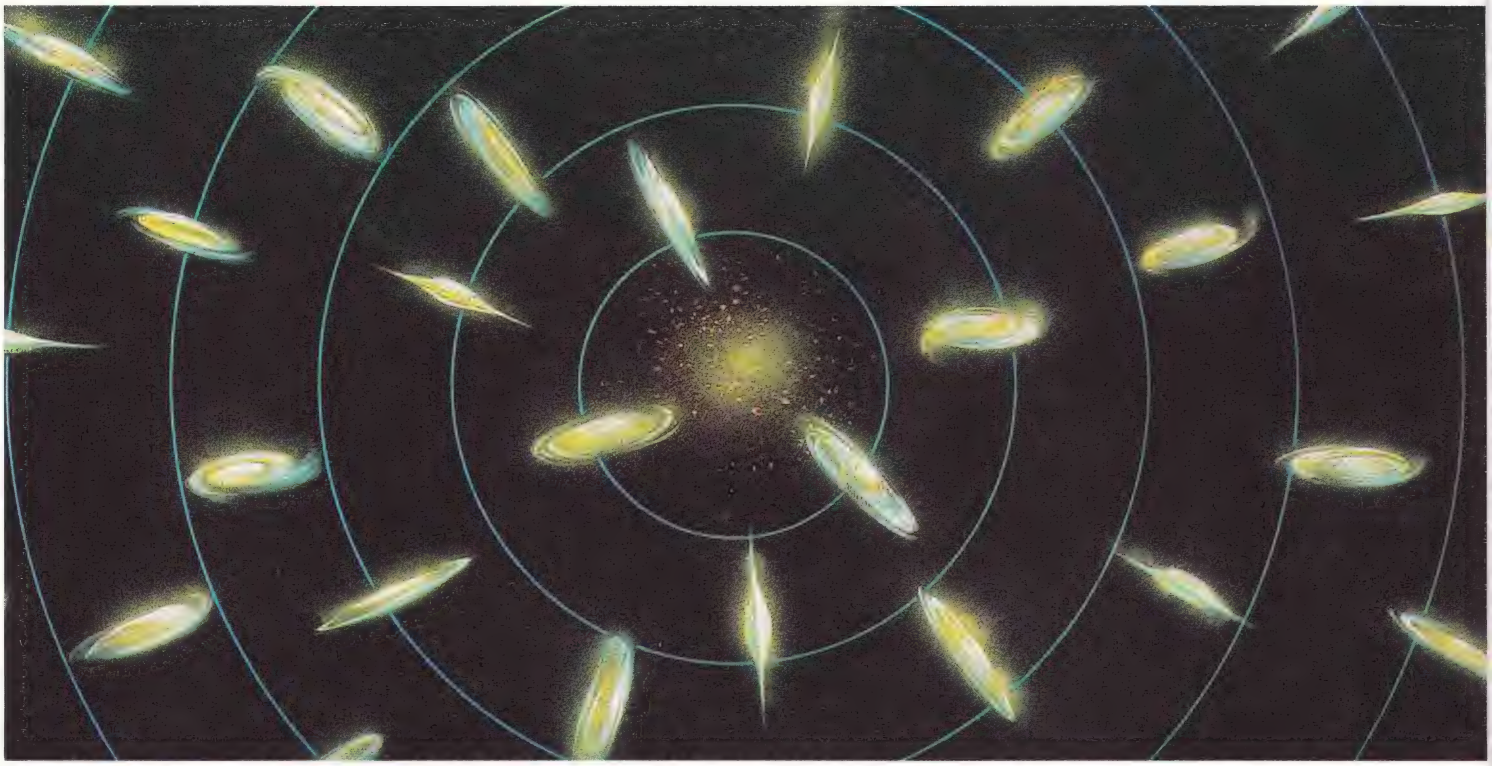


Das stationäre Universum und das pulsierende Universum

Es gibt mindestens eine konkurrierende Theorie, die das Problem der kosmischen Zeit anders löst als die Urknalltheorie. Sie arbeitet mit der Vorstellung eines Universums ohne Anfang und Ende. Es handelt sich um die *Theorie eines stationären Universums,* die zum ersten Mal im Jahre 1948 von Fred Hoyle, Hermann Bondi und Thomas Gold vorgebracht wurde. (Hoyle hat allerdings inzwischen zugegeben, daß zur Zeit die Fakten für die Theorie vom Urknall sprechen.) Die Verfechter eines stationären Universums weisen darauf hin, daß das Universum bei aller Bewegung immer in demselben Zustand verharrt; die Dichte der Materie bleibt durchgehend gleich, obwohl das Ganze sich dauernd ausdehnt. Sterne werden alt und vergehen, aber andere entstehen aus den Verdichtungen von Staub und Gas in den Nebulae oder Nebeln. Während Galaxien sich immer weiter in den Weltraum ausdehnen, kommen neue hinzu und treten an ihre Stelle. Man stelle sich einen Film vor, in dem ein großer Teil des Universums über eine Zeitspanne von zwei Millionen Jahren gezeigt wird – eine Million Jahre vor unserer Zeit und eine Million Jahre danach. Man könnte ihn rückwärts oder vorwärts laufen lassen: es gäbe nur unbedeutende Veränderungen. Aber man stelle sich nun weiter vor, es würden nicht identifizierte, unbekannte Szenen aus der Vergangenheit, der Gegenwart und der Zukunft gezeigt. Wüßte man denn, um welche Zeit es sich gerade handelt, d. h., wann jede einzelne Szene gedreht wurde? Nach der „stationären" Theorie hat es also durchaus einen Sinn, vom Erdalter oder Galaxiealter zu sprechen, nicht aber vom „Alter des Universums".

Woher kommen nun aber die neuen Galaxien in dem sich ständig erneuernden Universum? Wie wir gesehen haben, ist Wasserstoff für die Sonne und die anderen Sterne unentbehrlich. Wenn er verbraucht ist,

Schematische Darstellung der Ereignisse in einem hypothetischen pulsierenden Universum. Nach einer Periode der Ausdehnung zieht sich das Universum zusammen (links), bis es sich abermals zu einem Feuerball verdichtet. Dann gibt es wieder einen Urknall, gefolgt von einer erneuten Ausdehnung (Mitte). Darauf folgt wieder eine Zusammenziehung (rechts) und so weiter – immerfort, ohne Ende.



Darstellung eines stationären Universums. In dieser Art von Universum bewegen sich die Galaxien unaufhörlich voneinander weg, bis sie sich in den Tiefen des Weltraums verlieren. Andere – neu gebildet – nehmen ihre Stelle ein.

erlischt ein Stern. Neue Sterne entstehen, aber im Laufe der Zeit geschieht dies immer seltener. Eines Tages wird der letzte Stern aufflackern und in der Leere des Raums vergehen.

Gold meinte, daß im Universum unaufhörlich Materie erzeugt wird. Hoyle präzisierte, es seien Wasserstoffatome, die sich spontan immer wieder neu bildeten, und diese erzeugten schließlich Gaswolken, aus denen sich neue Galaxien entwickelten. Nach den Berechnungen von Hoyle, Bondi und Gold ist die Menge der Materie, die nötig ist, um den materiellen Bestand des Universums zu erhalten, viel zu klein, um wahrnehmbar zu sein. Bei dieser Hypothese sollte man folgendes bedenken: Durch Beobachtungen kann sie niemals bewiesen oder widerlegt werden. Stärker noch wiegt für viele Wissenschaftler das Argument, daß, unabhängig von der Menge, die ständige Produktion von Materie sozusagen aus dem Nichts eines der Grundgesetze der Physik verletzt, das Gesetz von der Erhaltung der Energie. Dieses Gesetz besagt, daß Energie und folglich auch Materie weder erzeugt noch zerstört werden können. Allerdings stehen dem eine Reihe von Beobachtungen und Entdeckungen aus der jüngsten Zeit entgegen, die zu komplex sind, um sie hier abzuhandeln. Sie haben Theorien darüber angeregt, wie neue Materie im Universum entstehen könnte.

Einwände gegen die genannten Theorien

Ein anderes Argument gegen die Theorie eines stationären Universums, d. h. zugunsten der Urknalltheorie, ergab sich durch die Entdekkung der Quasare. Wenn die Quasare wirklich so weit entfernt sind, wie ihre Rotverschiebungen andeuten, könnten sie Objekte sein, die sich relativ kurz nach dem Urknall gebildet haben – Phänomene, die sich später nicht wiederholten. Aber sie sind zu groß und anscheinend auch viel zu gewaltig, um bequem in ein stationäres Universum hineinzupas-

sen, das nur geringfügige Änderungen zuläßt. Gegen dieses Argument können die Verfechter der „stationären Theorie" erwidern, daß die Beweise keinen endgültigen Charakter haben und daß die Quasare vielleicht nicht das sind, was sie zu sein scheinen. Es könnte sein, daß sie keine Objekte an den Grenzen von Raum und Zeit sind, sondern Phänomene, die uns viel näher stehen und lediglich unvollständig interpretiert werden.

Am entmutigendsten für die „stationären Theoretiker" ist die Tatsache, daß sie den sogenannten *Mikrowellenhintergrund* des Raums nicht erklären können. Hierbei handelt es sich um eine sehr schwache Strahlung, die zum ersten Mal 1965 festgestellt wurde: Radiowellen, die mit bemerkenswerter Gleichmäßigkeit überall im Weltraum erzeugt werden. Zuerst dachte man, diese Radiostrahlung gehe von vielen sehr weit entfernten Einzelquellen aus, die den näherliegenden bekannten Strahlungsquellen in manchen Galaxien ähneln. Weitere Berechungen jedoch zeigten, daß es nicht genug einzelne Quellen gab, um den Mikrowellenhintergrund zu erklären. Die Anhänger der Urknalltheorie werden behaupten, daß diese Strahlung einen Rest der ungeheuren, massiven Strahlung, die beim Urknall freigesetzt wurde, darstellt. Wenn natürlich eine Theorie einen Anfang gar nicht vorsieht, nützt ihr diese Erklärung herzlich wenig.

Mittlerweile gibt es eine Anzahl von Theorien, die auf die Vorstellung eines *schwingenden* oder *pulsierenden Universums* gegründet sind. Sie stützen sich unter anderem auf Daten, die nahelegen, aber nicht beweisen, daß die Ausdehnungsgeschwindigkeit des Universums sich verlangsamt und daß die Dichte der Galaxien zahlenmäßig vor einigen Milliarden Jahren überall viel größer war. Nach dieser Theorie verlangsamt sich die Ausdehnung des Universums. Die Fluchtbewegungen der Spiralnebel werden schließlich durch eine gegenseitige Anziehungskraft der Massen im Weltall und durch eine bisher nicht identifizierte „kosmische Kraft" zum Stillstand gebracht. Danach würde sich wie in einem zurücklaufenden Film alle Materie wieder zusammenziehen; Galaxien, Sterne und Atome würden dabei aufeinander zustürzen und vernichtet werden – bis zum nächsten Urknall, wenn der kosmische Film wieder anfangen würde, „normal", d. h. vorwärts, zu laufen. Dieses Ereignis würde den Tod des alten und die Geburt eines neuen Universums bedeuten. Die Intervalle zwischen den Urknallen in einem solchen „Vorwärtsrückwärtsuniversum" ohne erkennbaren Anfang und ohne Ende wurden auf 60 Milliarden Jahre geschätzt. Abgesehen von der einen offensichtlichen Schwäche dieser Theorie, daß sie nämlich mit einer vorläufig nicht nachweisbaren „kosmischen Kraft" operiert, gibt sie auch noch mancherlei Raum für konkurrierende Interpretationen der zugrundeliegenden Daten.

Die kosmische Frage bleibt ein fruchtbarer Boden für Spekulationen und Theoriebildungen. Im Augenblick ist die Urknalltheorie noch Spitzenreiter; aber wer weiß, was morgen sein wird? Wir wollen jetzt zu unserer Sonne zurückkehren, und danach soll uns die Erde wieder haben.

Vorspiel zur Geburt der Sonne

Als die Menschen noch glaubten, daß die Sonne wie ein Ball aus Holz oder Kohlen brenne, hatten sie keine Vorstellung vom tatsächlichen Alter der Sonne. Eine Sonne, wie sie sie sich vorstellten, wäre nach ein

Gemälde von Donato Creti, jetzt in der Gemäldegalerie des Vatikans (Pinakothek). Zu der Zeit, als der Künstler dieses Bild malte (Anfang 18. Jahrhundert) glaubten die meisten Menschen, daß die Sonne wie ein Kohlenfeuer brenne.

paar tausend Jahren ausgebrannt gewesen; die Erde wäre längst „erfroren", alles Leben auf ihr erloschen. Für uns sieht die Wahrheit zum Glück ganz anders aus. Die Existenz der Sonne bemißt sich nach Tausenden von Millionen Jahren, und sie hat bis jetzt nur einen kleinen Bruchteil dieser Zeitspanne gelebt. Die Sonne ist ein Stern, aber immer noch ein verhältnismäßig junger. Wie wir wissen, haben die Astronomen das Alter vieler Sterne unserer Milchstraße errechnet, einschließlich der Sonne, deren Alter sie auf 4,5 bis 5 Milliarden Jahre angesetzt haben. Also ist die Sonne kein sehr alter Stern, besonders im Vergleich zu den

Der Trifidnebel im Sternbild des Schützen. Gegen einen Hintergrund von leuchtendem, farbigem Gas sieht man die Konturen von schwarzen Wolken aus Staub und Gas in einem fortgeschrittenem Zustand der Verdichtung.

Sternen der Kugelhaufen; aber sie ist ein reifer Stern, verglichen mit anderen Sternen, die erst vor ein paar Millionen Jahren entstanden sind, oder verglichen mit denen, die immer noch in einer Entwicklungsphase stecken.

Die andauernde, sich immer wiederholende Geburt der Sterne der Milchstraße weist darauf hin, wie die Sonne entstand. Wenn wir die verschiedenen Gas- und Staubwolken sehen könnten, die entlang der galaktischen Spiralarme verstreut liegen, würden wir verschiedene Grade der Verdichtung beobachten können. Diese Stufen reichen von einem dünnen, weit ausgedehnten Gas bis hin zu dichten, fast kugelförmigen Ansammlungen. Wie wir bei der Evolution der Galaxien gesehen haben, repräsentieren die dichten, runden Formen die Endphase, die dem prachtvollen Leuchten neuer Sterne voraufgeht. Also dürfen die Astronomen annehmen, daß die Sonne vor ihrer Geburt genauso aussah.

Wie die Sonne ein Stern wurde

Wir erinnern uns, daß die Haupt- und Urkraft, die die Verwandlung einer zarten, dünnen Wolke aus fein verteiltem Gas und winzigen Staubteilchen in eine dichte Wolke und später in einen leuchtenden Stern auslöste, die Schwerkraft ist. Sie ist die Ursache dafür daß die Wasserstoffatome in der Wolke sich gegenseitig anziehen und verdich-

Der Lagunennebel, der sich ebenfalls im Sternbild des Schützen befindet. Hier sehen wir dieselben Phänomene wie bei dem Trifidnebel. Außerdem ist hier die Kondensation schon so weit fortgeschritten, daß bald neue Sterne erscheinen werden. Diese Kondensationen sind als Punkte und Flecke sichtbar.

ten. Während die Atome sich vereinigen, nimmt ihre Energie zu. Die sich zusammenziehende Gaswolke beginnt sich zu erhitzen, und die Temperatur steigt stark an.

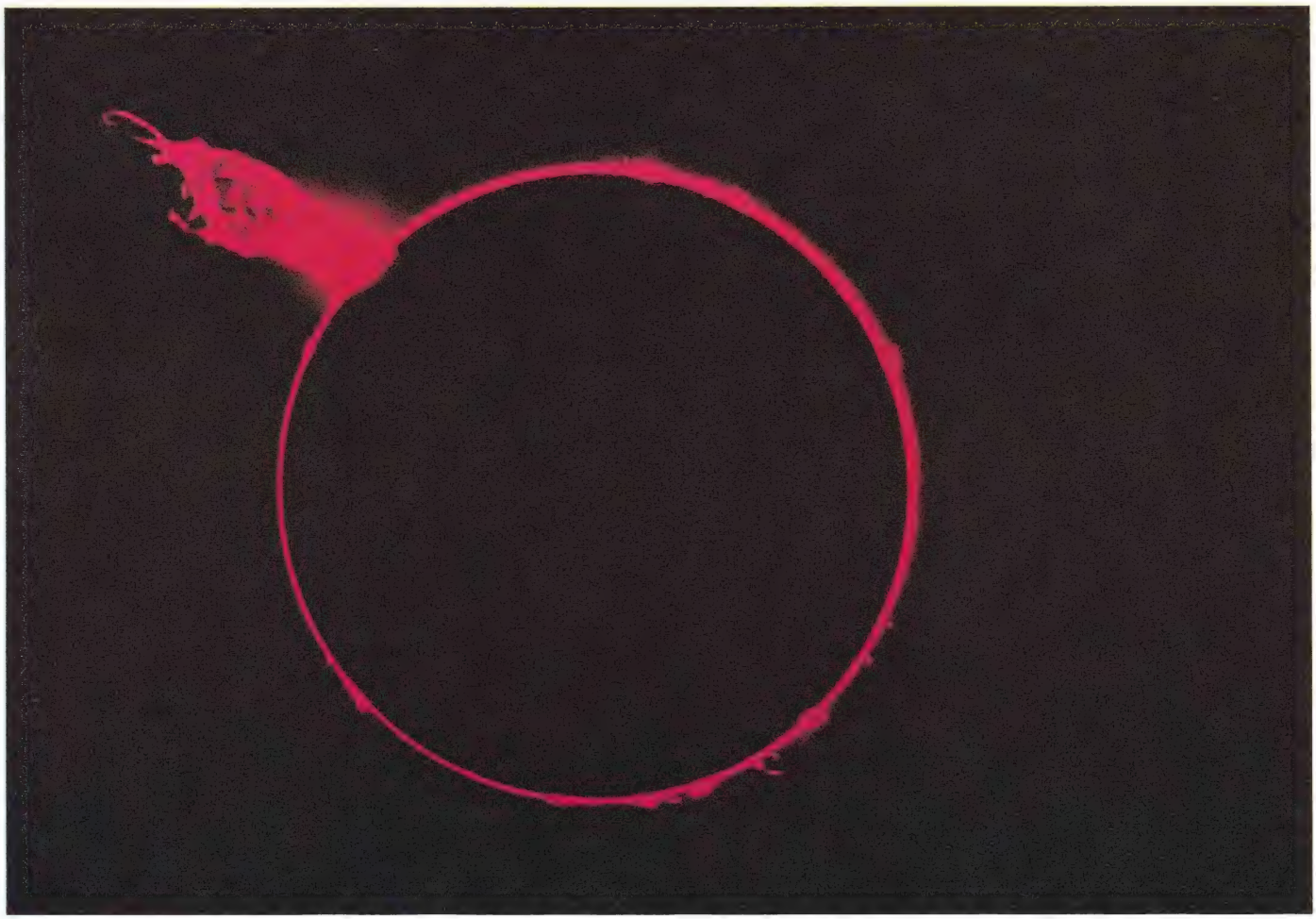
Dank dieser Rekonstruktion durch die Astronomie können wir uns jetzt die Geburt unserer Sonne vorstellen. Sie ist eigentlich nur eine Episode in der Entwicklung einer Galaxie, die wir bereits im Zusammenhang mit der Urknalltheorie kennenlernten. Wie Millionen anderer Sterne entstand die Sonne innerhalb einer großen, dunklen Wolke aus Staub und Gas, hauptsächlich Wasserstoff. Während diese unvorstellbar dünne Materie in der Wolke umhergewirbelt wurde, bewegten sich natürlich auch die Atome, aus denen sie bestand, nach allen Seiten. Wenn sich diese Atome dabei zufällig berührten, bewirkte die Schwerkraft sogleich, daß sie von diesem Augenblick an zusammenblieben und nicht wieder auseinanderflogen. Mit der Zeit schlossen sich solche Atome zu einem *Kondensationskern* zusammen. Andere noch ungebundene Atome wurden von diesem Kondensationskern angezogen, und so bildete sich mit der Zeit eine selbständige Wolke, die sich unter dem Druck ihres eigenen Gewichts zunehmend zusammenzog. Die Temperatur im Zentrum dieser Wolke stieg immer höher, bis auf 55 500 °C, und das ursprüngliche Wasserstoffgas verwandelte sich in eine Mischung aus zwei Gasen: eines, das nur aus Elektronen, und ein anderes, das nur aus Protonen bestand. Zu diesem Zeitpunkt war die Wolke schon von

Geburt und Tod unserer Sonne. Diese Darstellung zeigt die Hauptereignisse im Leben dieses Sterns von seiner Entstehung (links oben) vor etwa fünf Milliarden Jahren bis zu seinem Ende (links unten), das sich mindestens ebenso lange hinziehen wird. Wir sehen, wie die Sonne aus einer Wolkenverdichtung entstanden ist und von Planeten umgeben wurde. Rechts in der Mitte des schwarzen Bogens sehen wir die Sonne (mit unserem Sonnensystem), wie wir sie heute kennen. Danach folgt die Sonne der Zukunft, die hinsichtlich Temperatur und Größe zunehmen wird, bis sie ein gigantischer, roter Stern sein wird, der die Planeten in seiner Nähe verbrennt. Zuletzt wird sie schrumpfen und immer kleiner werden, um schließlich als winziger Stern von außerordentlicher Dichte zu enden. Diese endgültige Zusammenziehung könnte in rund 5 Milliarden Jahren stattfinden. Zuvor jedoch werden die Oberflächen aller Planeten von der riesigen, sterbenden Sonne verbrannt werden.

einem ursprünglichen Durchmesser von 15 Milliarden km auf 150 Millionen km zusammengeschrumpft. Millionen Jahre später war der Durchmesser der sich immer noch zusammenziehenden Wolke auf 1,5 Millionen km geschrumpft, und die Temperatur hatte 11 Millionen °C erreicht. Bei dieser Hitze flogen die Protonen mit einer solchen Geschwindigkeit umher, daß sie ihre wechselseitige Abstoßung überwinden konnten. Sie prallten mit so ungeheurer Kraft aneinander, daß sie zu einzelnen Atomkernen verschmolzen. All diese Zusammenstöße lösten eine thermonukleare Reaktion aus, in der die gewaltige Energie, die sich innerhalb der Gaswolke aufgebaut hatte, an die Oberfläche gelangte und in den Weltraum als eine Flut von Wärme und Licht abgestrahlt wurde. Die Sonne, ein neuer Stern in der Milchstraße, war geboren. Damit endete die Zusammenziehung, und die Sonne stabilisierte sich. Ein Gleichgewicht zwischen der nach außen drängenden Kernkraft und der nach innen drückenden Schwerkraft war erreicht.

Wir kehren jetzt noch einmal zurück zur Geschichte unseres Planeten, zurück in die Zeit, in der alle Planeten entstanden. Schließlich ist die Erde ein Mitglied der Familie der Planeten. Es ist klar, daß wir die Anfänge ihrer Geschichte im Zusammenhang mit der Geschichte des ganzen Sonnensystems untersuchen müssen.

Die Kernreaktionen im Innern der Sonne verursachen furchteinflößende Erscheinungen. Die Abbildung zeigt einen großen Ausbruch brennenden Wasserstoffs, der von der Sonnenoberfläche hochgeschleudert wird und in den Raum hinausragt wie eine flammende Zunge. Solche Ausbrüche nennt man Protuberanzen. Auf dieser Aufnahme erscheint die Sonnenscheibe selbst ausgeblendet, so daß nur ihre Wasserstoffatmosphäre sichtbar ist.



Das Geheimnis der Geburt der Erde wird gelöst: Wie war es am Anfang wirklich?

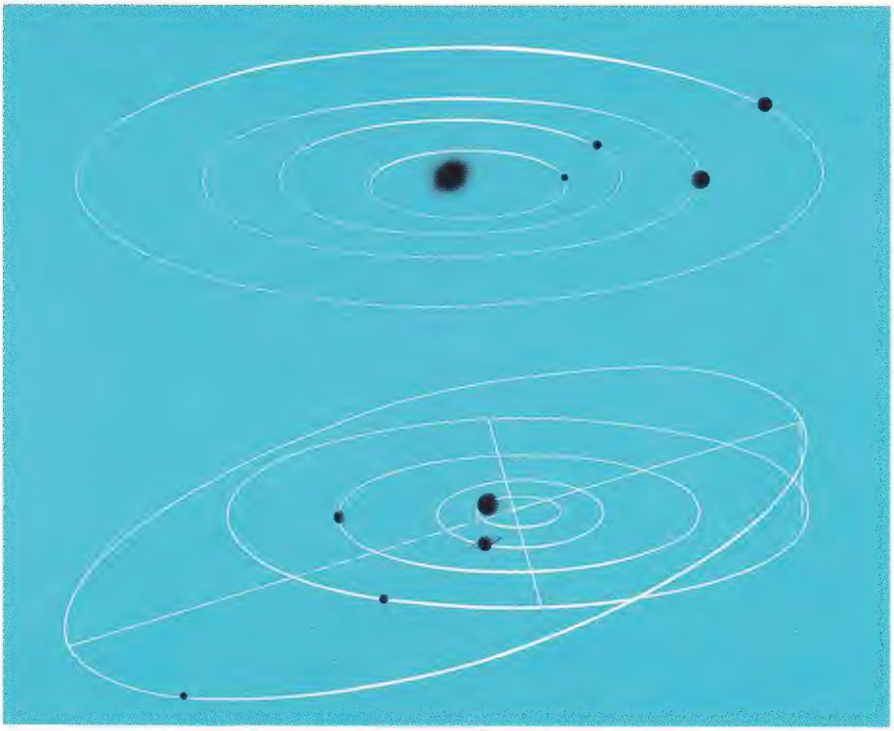
Das Problem der Entstehung der Erde und der anderen Planeten

Die neun Planeten haben verschiedene Eigenschaften gemeinsam, die ihre gemeinsame Herkunft kennzeichnen. Zum Beispiel bewegen sich alle in dieselbe Richtung und verfolgen fast kreisförmige Planetenbahnen. Außerdem befinden sich alle Planetenbahnen, ausgenommen die des Plutos, der sich auf einer sehr flachen Bahn bewegt, auf derselben Ebene.

Wenn die Planeten also einen gemeinsamen Ursprung haben, ist die nächste Frage: Woher sind sie gekommen? Eine naheliegende Antwort wäre: von der Sonne. Dies ist einmal naheliegend darum, weil das Sonnensystem sich über einen ungeheuren Bereich ausdehnt. Zum anderen befindet sich in ihrem Zentrum eine Materienmasse, die im Vergleich mit den Planeten, die sie wie winzige Globusse umkreisen, gewaltig ist. Denken wir einen Augenblick an das, was vorher geschah. Wir könnten vielleicht die Vorstellung logisch finden, daß die Sonne die Planeten während ihrer eigenen Entstehung hervorbrachte; und wir könnten damit durchaus recht haben, denn viele Astronomen denken das gleiche. Leider ist es unmöglich, die Entstehung anderer Planetensysteme im Weltall durch Beobachtung zu verfolgen. Wir können die Geburt von Sternen „sehen", weil sie so ungeheuer groß sind, nicht aber die Geburt ihrer dunklen Planeten, weil sie von keinem noch so großen Teleskop erfaßt werden können. Also gibt es nichts anderes für die Astronomen, als die Entstehung der Planeten auf der Basis indirekter Beweise und theoretischer Deduktion zu rekonstruieren.

Die Geburt der Planeten durch Abtrennung von der Sonne

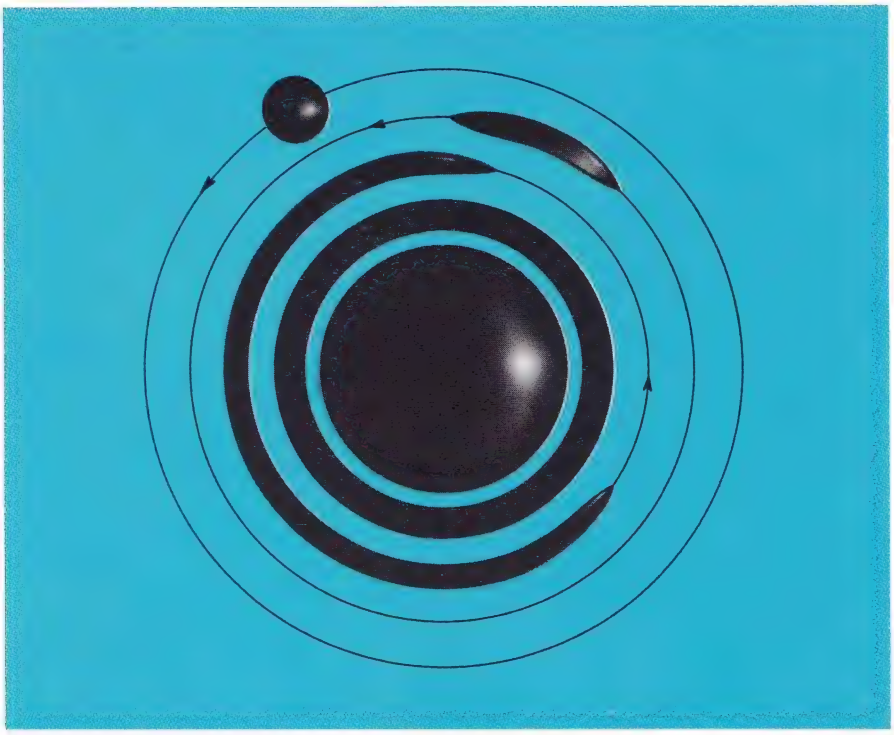
Während des letzten Jahrhunderts glaubten die Wissenschaftler, sie wüßten schon ziemlich genau, wie die Erde und die Planeten entstanden seien. Damals meinten sie, wie wir jetzt, daß die Sonne aus einer unvorstellbar großen Gaswolke hervorgegangen sei. Weiter glaubte man, daß zu einem bestimmten Zeitpunkt diese Wolke außerordentlich heiß wurde und sehr schnell rotierte und daß, als sie die Planeten abstieß, eine prachtvolle Sonne als Überrest blieb. Man erklärte die Ereignisse auf die folgende Weise:



Gewisse Eigenschaften, die alle Planeten besitzen, weisen auf ihren gemeinsamen Ursprung hin. So liegen zum Beispiel alle Umlaufbahnen der Planeten auf derselben Ebene; Pluto bildet hier die einzige Ausnahme. Man nimmt allerdings an, daß Pluto ein uralter Satellit des Neptun ist, der von seiner ursprünglichen Position durch Gravitationsstörungen abgelenkt wurde. In der Zeichnung sieht man folgende Anordnung der planetarischen Umlaufbahnen: die Bahnen der sonnennahen Planeten rechts, die Bahnen der sonnenfernen Planeten links.

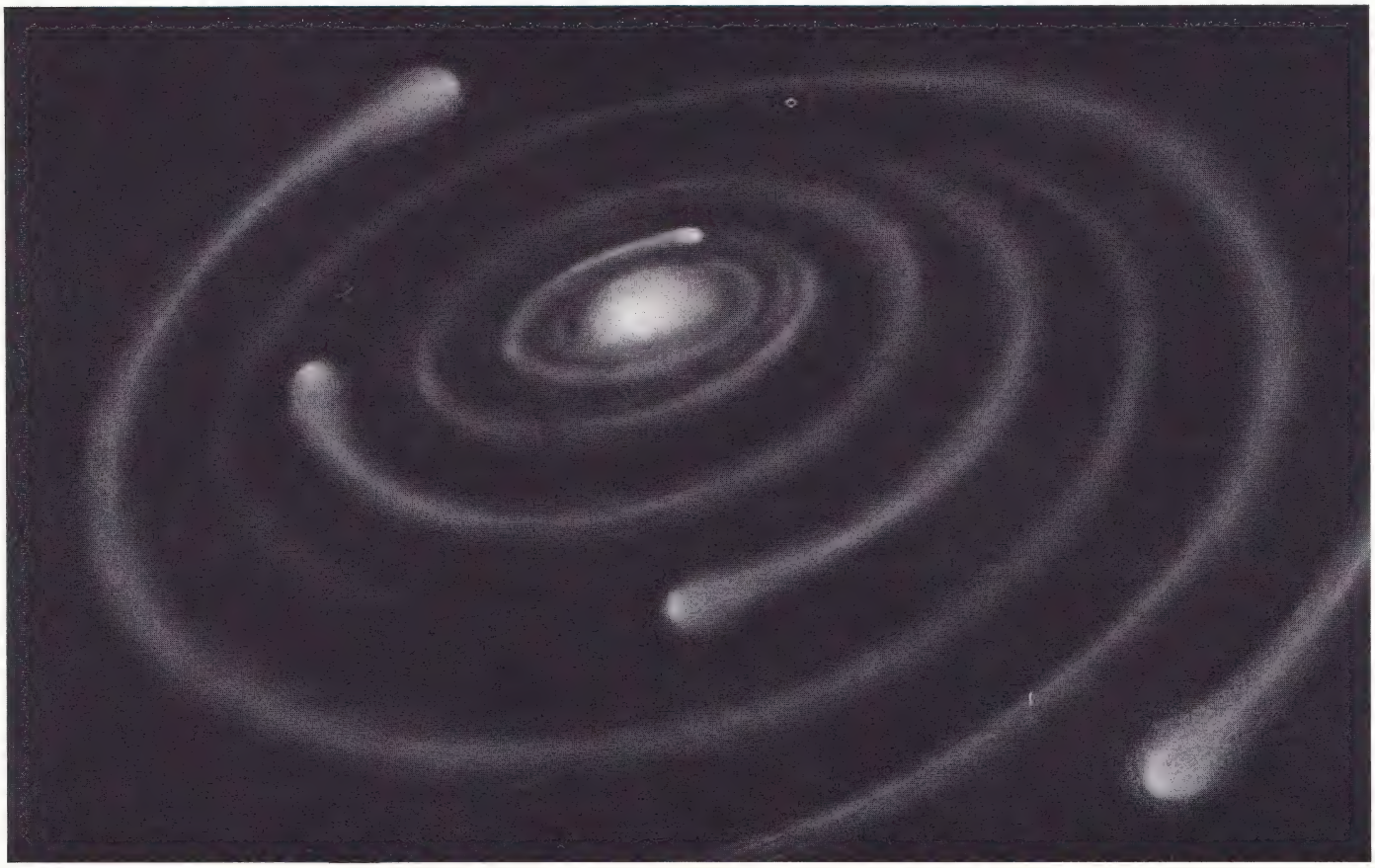
Am Anfang rotierte sehr, sehr langsam ein riesengroßer Gasnebel; seine Geschwindigkeit nahm zu, als die Gasmasse sich zusammenzog. Zuletzt beschleunigte sich ihre Rotation so stark, daß die Materie an ihrem Rand sich ablöste und ins Freie geschleudert wurde, statt sich weiter auf den Schwerpunkt zu zu bewegen. Man stelle sich das Rad eines Autos vor, das über und über mit Schmutz bespritzt ist. Wenn es anfängt, sich schneller zu drehen, immer schneller, wird sich der Schmutz von dem Rad lösen und in alle Himmelsrichtungen fliegen. So etwas Ähnliches geschah mit jener Anfangswolke: Eine Menge Materie löste sich von ihrem Äquator und verteilte sich um ihn herum in Form eines Rings. Die Wolke nahm eine Form an, die etwa dem Planeten Saturn ähnelte. Die Materie in diesem Ring drehte sich weiter um ihren Kern, gerade so, wie sie ihn umkreist hatte, als sie sich noch mitten in der Wolke befand. Aber an gewissen Stellen – Stellen von größerer Dichte, zufällig erzeugt im Augenblick der Abtrennung – entwickelte sich eine lokale Schwerkraft. Danach verdichtete sich die Materie an diesen Stellen. Es bildeten sich Kondensationskerne, die auf ihren eigenen Achsen zu rotieren begannen. Der größte unter ihnen zog die anderen an und vereinigte sich mit ihnen zu einer einzelnen Verdichtung. Diese eine Verdichtung formte sich dann zu einer Kugel, die zuerst heiß war und danach abkühlte. Die Kugel war ein Planet, der Erstgeborene der planetarischen Familie.

Während der erste Gasring sich diesen Verwandlungen unterzog, löste sich ein zweiter Ring von der Gaswolke, genau wie dies vorher der erste Ring getan hatte. Und wieder entstand durch einen Prozeß zunehmender Verdichtung ein Planet. Nach dem zweiten gab es dann einen dritten, einen vierten und so weiter. Zuletzt kam dann der Augenblick, in dem keine Ringe mehr abgesondert wurden, weil der



Links: Wie die Planeten sich, nach der Kant-Laplaceschen Theorie, aus einem ursprünglichen Gasnebel gebildet haben. Die Scheibe in der Mitte ist die Sonne, die sich in einem Prozeß der Zusammenziehung befindet. Um die Sonne herum sehen wir vier Ringe in verschiedenen Stadien der Verdichtung. Der äußere Ring hat bereits die Form eines Planeten angenommen.

Unten: Die Entstehung des Sonnensystems nach der Kant-Laplaceschen Theorie.



Schematische Darstellung der Sonnenrotation. Die durch das Teleskop beobachtete Verlagerung der Flecke auf ihrer Oberfläche zeigt deutlich, daß die Sonne sehr langsam rotiert. Die Zahlen neben den Flecken bezeichnen die Tage der Beobachtung.

Kern des ursprünglichen riesigen Gasnebels jetzt stabil geworden war. So wurde aus diesem Kern die Sonne geboren, während die kleineren Planeten sie umkreisten, schon voll ausgebildet und bereits auf Umlaufbahnen, die jenen früheren Ringen entsprachen. Einer dieser Planeten war die Erde.

Einwände gegen die Gasnebelhypothese

Die Theorie, die hier erläutert wurde, wird die *Gasnebelhypothese* oder die *Kant-Laplacesche Theorie* genannt (nach dem deutschen Philosophen Immanuel Kant und dem französischen Mathematiker Pierre Laplace, die sie vor rund 200 Jahren zum ersten Mal vortrugen). Über ein Jahrhundert lang schien es absolut keine Zweifel an der Richtigkeit dieser Theorie zu geben. Aber am Anfang dieses Jahrhunderts wurden ernste Bedenken vorgetragen – so ernst in der Tat, daß diese Theorie heute nicht mehr aufrechtzuerhalten ist. Trotzdem aber gingen manche der folgenden Theorien, die die Kant-Laplacesche Theorie ersetzen sollten oder die noch später entwickelt wurden, von einigen ihrer Annahmen aus und modifizierten sie.

Der erste ernste Einwand gegen die Kant-Laplacesche Theorie ergab sich bei dem Versuch, eine mathematische Analyse des Verhaltens der Ringe, die sich aus jenem Urnebel gebildet haben sollten, zu erstellen. Es konnte gezeigt werden, daß solche Ringe sich niemals zu Planeten hätten verdichten können. Bestenfalls wären sie wie die Saturnringe in

kreisförmige Staubbänder verwandelt worden. Oder, da angenommen wurde, daß die Ringe stark erhitzte Gase enthielten, die Moleküle wären dem Schwerefeld der Sonne entkommen, und die Ringe hätten sich aufgelöst.

Dieser Einwand wurde zusammen mit einem anderen vorgebracht, der viel leidenschaftlicher diskutiert wurde und tatsächlich schon Jahre vorher von James Clerk Maxwell, einem britischen Physiker, entwickelt worden war. Wenn die Nebelhypothese stimmte, müßte die Sonne 200mal schneller rotieren, als sie es jetzt tut. Schließlich meinten viele Astronomen, es gebe wirklich keinen zwingenden Grund, warum die Sonne Ringe produzieren sollte, statt sich ständig weiter zu einer Einzelmasse zusammenzuziehen.

Entstehung der Planeten durch einen vorbeiziehenden Stern

Die Theorien, die den Anspruch erhoben, die Kant-Laplacesche Theorie zu ersetzen, wurden vor allem zwischen 1900 und 1940 vorgetragen. Eine der interessantesten und fesselndsten ging von einer Begegnung der Sonne mit einem vorüberziehenden Stern aus – ein sehr beliebtes Thema von Science-fiction-Autoren. Man stelle sich die Sonne vor, bereits geformt und langsam rotierend genau wie heute, aber ohne Planeten. Man stelle sich weiter vor, daß ein durch die Milchstraße rasender Stern sich auf die Sonne zu bewegt und sie auf Grund seiner größeren Geschwindigkeit schließlich überholt, allerdings in so geringem Abstand, daß er sie fast streift: Als Folge der ungeheuren Anziehungskraft dieses Sterns würden riesige, äußerst heiße Gasmassen aus der Sonne gerissen, die sich in einem langen Sonnenschweif hinter dem Stern hinzögen. Der Stern wäre schon bald weit weg, sich in der großen Galaxie verlierend. Zurück bliebe der Sonnenschweif, das „Sonnenfilament", in der Nähe der Sonne, ohne jedoch zur Sonne zurückkehren zu können. Stattdessen fängt diese der Sonne entrissene Materie an, selbst um die Sonne zu kreisen. Später kondensiert sich das Filament zu großen Tropfen, die ihre Plätze in den Sonnenbahnen einnehmen. Dies wären dann die Planeten.

Eine Vielzahl von kuriosen Variationen dieser Theorie wurde vorgetragen. Zum Beispiel hieß es, es habe eine wirkliche Berührung, nicht nur ein Aneinanderstreifen zwischen Stern und Sonne stattgefunden. Es wurde sogar behauptet, daß die beiden miteinander in einer verheerenden kosmischen Katastrophe zusammengestoßen seien. Aber es verhielt sich damit wie mit der Urnebeltheorie. Eine genaue Analyse des Verhaltens, das man von Gasen erwarten konnte, die aus der Sonne herausgerissen würden, führte zu dem Ergebnis, daß zwar Schutt und Staub sich um die Sonne hätten verdichten können, ohne daß sich dadurch jedoch Planeten hätten bilden können.

Eine andere Hauptkritik dieser „Begegnungstheorie" stützt sich auf Kenntnisse, über welche die Astronomie am Anfang unseres Jahrhunderts noch nicht verfügte. Dies war z. B. die bereits erwähnte Entdekkung eines Planeten, der einen anderen Stern in unserer Galaxie umkreist. Diese Entdeckung unterstützte positiv die Hypothese, daß es außer dem unseren viele andere Planetensysteme im Universum gebe. Sollte dies der Fall sein, dann ist es unlogisch, anzunehmen, daß alle Planeten durch eine Beinahebegegnung oder einen direkten Kontakt zwischen den Sternen entstanden seien. Denn das Universum ist so unermeßlich groß, daß trotz ihrer großen Masse die Sterne zu weit auseinanderliegen, als daß eine Kollision möglich wäre.

Das Rätsel der langsamen Sonne und des Magnetismus

Um 1950 wurde das Rätsel der sich langsam bewegenden Sonne geklärt. Eine neue Theorie wurde geboren, die besagte, daß sich die Planeten ohne die Einwirkung anderer Sterne oder fremder Objekte aus der Sonne gebildet hätten. Die Möglichkeit, ein Planetensystem aus sich heraus entstehen zu lassen, wurde jedem Stern zugeschrieben (oder wenigstens jedem Stern wie unserer Sonne). In gewissem Sinne bekräftigt dies wieder die Ideen von Kant und Laplace, obgleich natürlich viele Modifikationen nötig wären.

Die Lösung des Rätsels einer sich langsam bewegenden Sonne wurde aus Beobachtungen hergeleitet, die feststellten, daß Gaswolken, aus denen Sterne entstehen, komplexe Wirbelbewegungen in ihrem Inneren haben. Demgemäß muß jeder Wolkenteil, der sich zu einem Stern verdichtet, eine Wirbelbewegung entwickeln, die immer schneller wird, während das Gas sich zusammenzieht. Das naturwissenschaftliche Gesetz, das dies alles regelt, wird das Gesetz von der Erhaltung des Drehmoments genannt. Astronomen haben errechnet, daß zur Zeit der Entstehung der Planeten die Sonne viel schneller rotiert sein muß als heute.

Welche gigantische „Bremse" also hat unsere Sonne verlangsamt? Es waren die magnetischen Eigenschaften der Ursonne. Wenn Kinder sich damit unterhalten, daß sie Nägel mit einem Hufeisenmagneten anziehen, benutzen sie dieselbe Kraft, die die Sonne verlangsamt hat. Dies kann man mit einem einfachen Experiment beweisen. Man kehrt die Enden des Magnets bzw. die Magnetpole nach oben und legt ein kleines Stück Pappe darauf. Dann verstreut man Eisenfeilspäne auf der Pappe und klopft leicht dagegen, damit die Späne sich über die Oberfläche verteilen. Man wird bemerken, daß die Späne ein gefälliges Muster bilden: Sie arrangieren sich wie von selbst, so daß von jedem Pol ein Muster in der Form eines Strahlenbündels ausgeht. Um die Magnetpole herum bildet sich so etwas wie ein Hof; zwischen dem einen Pol und dem anderen wird eine Reihe von Linien sichtbar, die einen Schenkelabschnitt bilden. Diese Linien werden *magnetische Kraftlinien* genannt und formieren sich sichtbar auf der Pappe, weil die Eisenfeilspäne durch eine unsichtbare magnetische Kraft angezogen werden. Man denke in diesem Zusammenhang an die Schwerefelder, die jeder Körper im Universum besitzt. Manche dieser Himmelskörper besitzen auch ein *Magnetfeld.*

Wie die Planeten die Sonne zügelten

Die Erde selbst ist ein riesiger Magnet; ihre magnetischen Pole liegen in der Nähe ihrer Drehpole. Die unsichtbaren Kraftlinien von einem Ende unseres Planeten zum anderen beeinflussen magnetische Kompasse, die uns helfen, die Richtungen auszumachen, in denen die Pole liegen. Die ganze Erde ist von ihrem eigenen Magnetfeld umgeben, einer Schicht der Atmosphäre, die *Magnetosphäre* heißt. Die Magnetosphäre ist für das Leben nützlich, weil sie eine Sperre gegen elektrisch geladene Teilchen von der Sonne und aus dem Weltraum bildet, die diese zwingt, entlang den äußeren Kraftlinien zu kreisen. Dabei werden die *Van-Allen-Gürtel* gebildet, die 1958 durch die Explorersatelliten entdeckt wurden. (Der amerikanische Physiker James Alfred Van Allen analysierte die Strahlungsdaten der ersten Explorersatelliten und berichtete, daß das Magnetfeld der Erde als Schirm gegen diese geladenen Teilchen zu fungieren schien. Dadurch entstand eine Art Strahlungsgürtel.) Auf dem

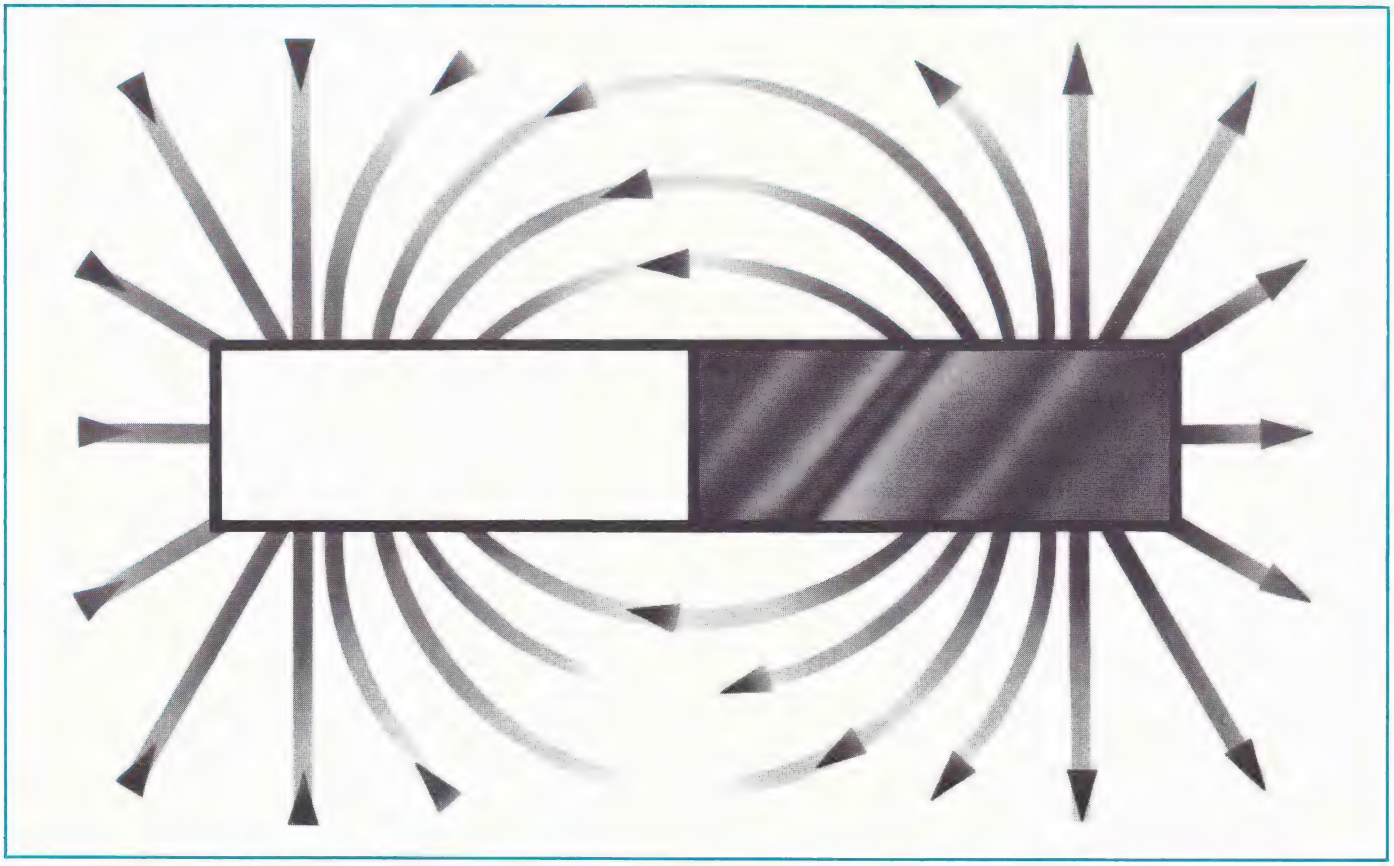
Rechte Seite: Vermutliche Entstehung der Planeten bei der Begegnung eines vorbeiziehenden Sterns mit der Sonne. Der Stern könnte aus der Sonne ein „Filament" der Sonnenmaterie herausgerissen haben, aus dem mit zunehmender Verdichtung dann die Planeten gebildet wurden.

Mond gibt es kein Magnetfeld, wohingegen der Planet Jupiter ein höchstentwickeltes Magnetfeld besitzt.

Auch die Sonne besitzt ein Magnetfeld; man darf also wohl annehmen, daß schon die Ursonne eines besaß. Die Magnetfelder, die man in Sonnenflecken und Sonnenausbrüchen findet, sind außerordentlich ausgedehnt und stark. Sie können sehr wohl als „Bremse" im obigen Sinn gedient haben. Ihre Kraftlinien steigen wie Säulen in die Höhe. Wolken von elektrifiziertem Gas steigen aus der Sonne auf und bewegen sich entlang diesen Kraftlinien.

Nach einer neueren Theorie funktionierte die „Bremse" in folgender Weise: Als die Planeten noch im Frühstadium ihrer Entwicklung steckten, hielten die magnetischen Kraftlinien der Sonne weiterhin die Verbindung zwischen der Sonnenmaterie und der späteren Planetenmaterie aufrecht. Aber der riesige Zentralstern rotierte sehr schnell, während sich die Planetenmaterie viel langsamer um ihn herum bewegte. Infolgedessen mußten die Kraftlinien sich in Spiralen krümmen und sich wie strammgezogene Gummibänder immer weiter ausdehnen. Die schnelle Bewegung der Sonnengase wurde von diesen Kräften beeinträchtigt, d. h., die Sonne verlangsamte ihre Rotation ein wenig, bis ihre Rotationsgeschwindigkeit auf ihrem heutigen Stand stehenblieb.

Magnetische Kraftlinien werden veranschaulicht, indem man Eisenfeilspäne über einem Magneten auf einem Stück Pappe verstreut.



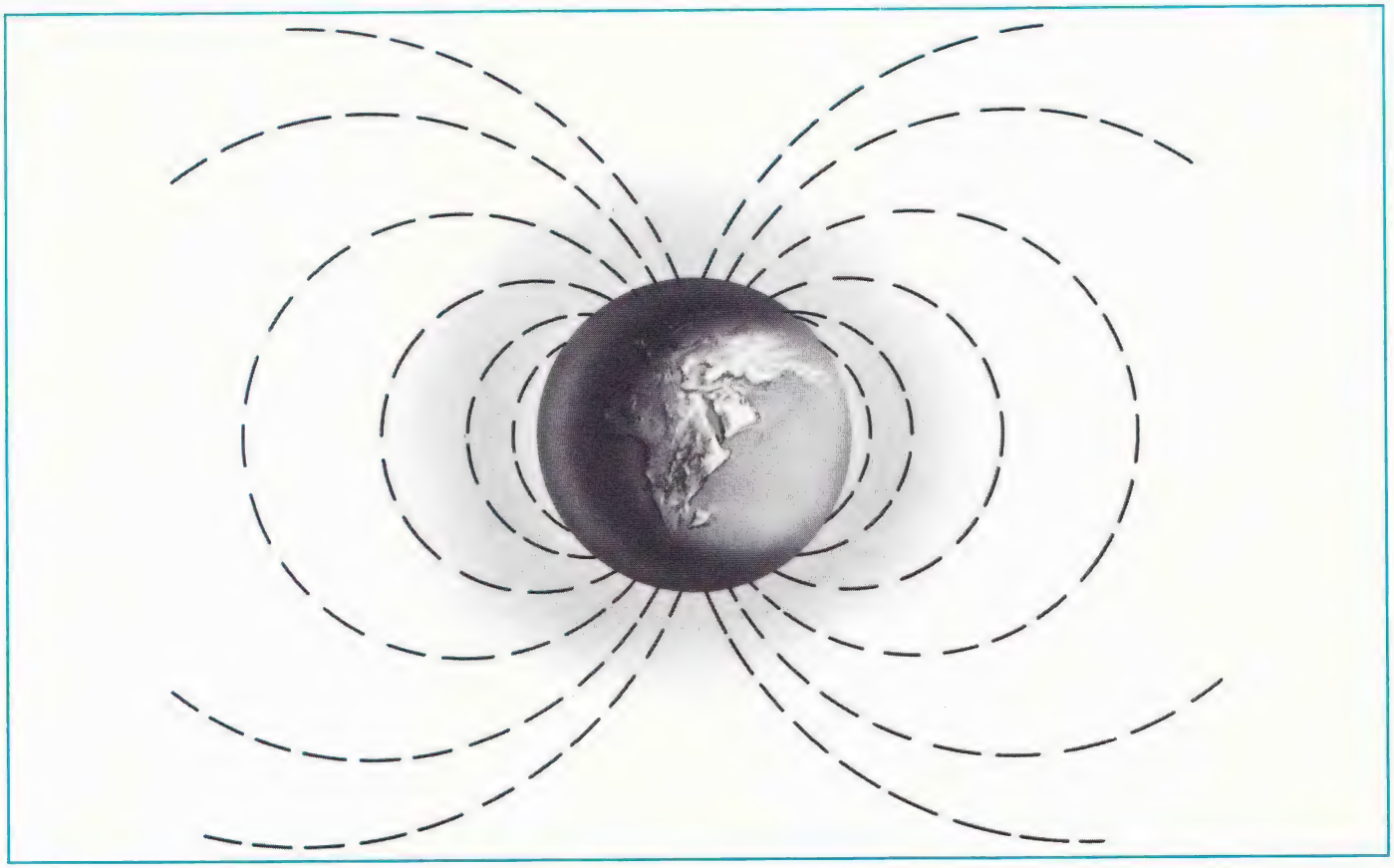
Moderne Vorstellungen über den Ursprung der Planeten

Heute gibt es mindestens zwei Haupttheorien über den Ursprung der Planeten. Die erste dieser Theorien besagt, daß die Planeten aus einer Urwolke entstanden seien, und zwar etwa zeitgleich mit der Entstehung der Sonne selbst. Die zweite Theorie geht davon aus, daß sich die Planeten aus einer Sonne entwickelt haben, die schon existierte. In keinem Fall wird die Einwirkung von fremden Kräften wie vorbeiziehenden Sternen erwähnt.

Die erste dieser beiden Theorien basiert auf der früheren Annahme, daß es zahlreiche Wirbel in dieser Ursonnenwolke gegeben habe; eine Theorie, die, wie wir gesehen haben, von dem Physiker von Weizsäcker im Jahre 1944 entwickelt wurde. Sie wurde im Jahre 1951 von dem amerikanischen Astronomen Gerald P. Kuiper beträchtlich modifiziert. Nach Kuiper enthielt die Wolke, aus der die Sonne entstand, von Anfang an nicht nur die eine riesengroße, zentrale Sonnenverdichtung, sondern auch viele kleinere Kondensationen. Diese kleinen Kondensationen drehten sich sowohl um ihre eigenen Achsen als auch gleichzeitig um das Zentrum der Wolke, aus dem sich die Sonne bildete. Auch sie zogen Materie an und wurden zunehmend dichter. Am Ende gab es anstelle der Wolke eine Anzahl vereinzelter Massen, die sich um die gewaltige Zentralmasse drehten.

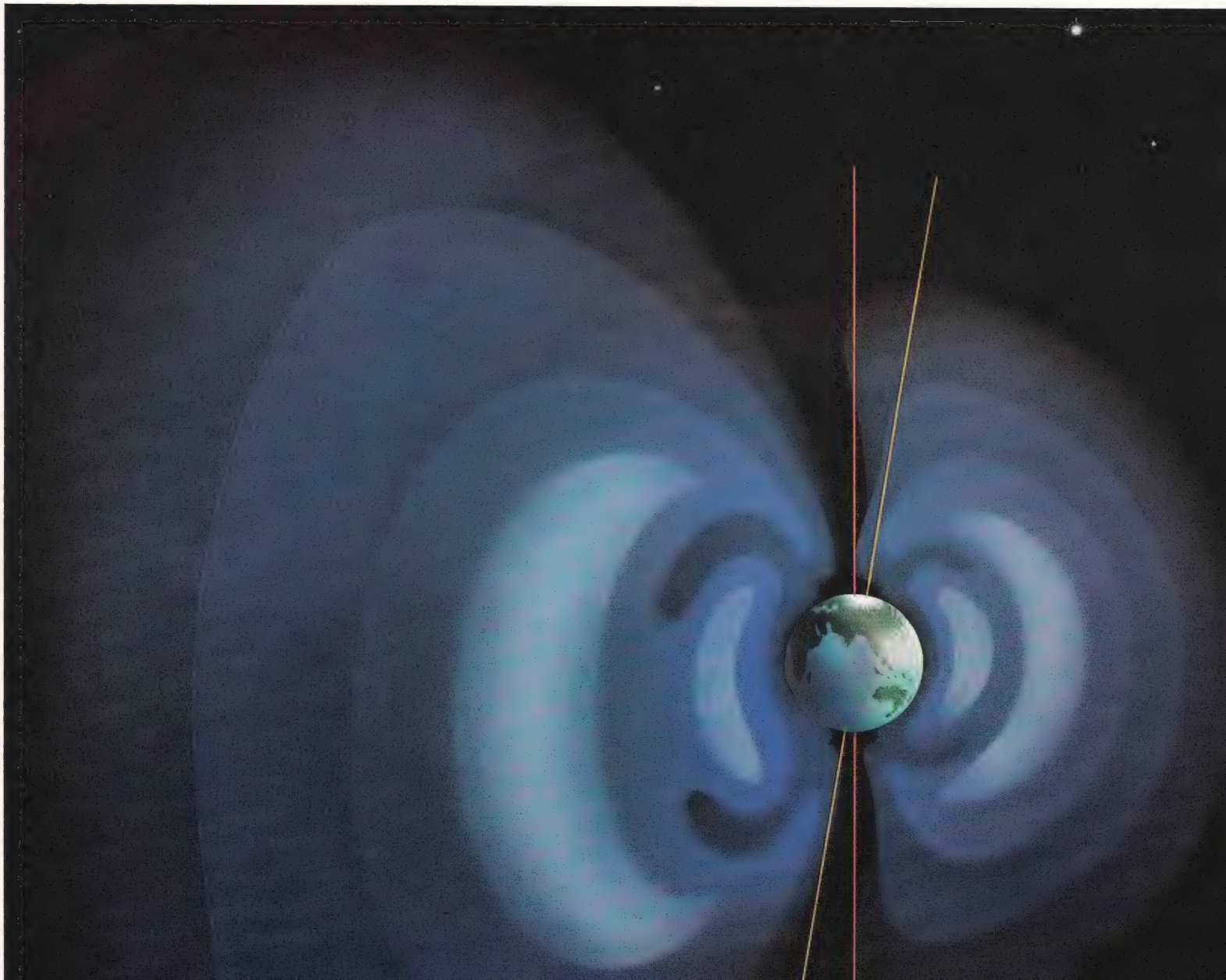
Dies alles geschah in völliger Dunkelheit. Dann jedoch zog sich die Zentralmasse zusammen und bildete die Sonne: Lichtstrahlen und andere Strahlen fingen an, ihrem „Nuklearofen" zu entströmen. Diese Strahlungen erhitzten die kleineren Massen und bewirkten, daß die

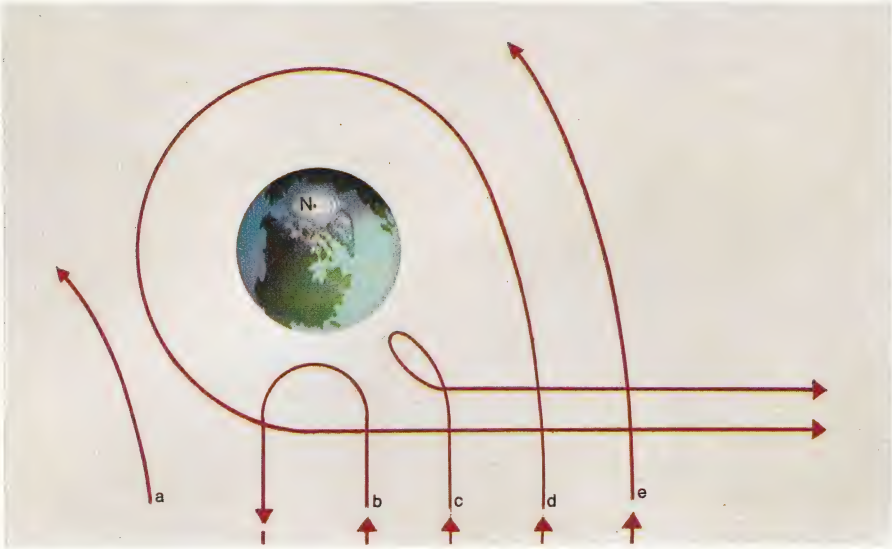
Anordnung der Kraftlinien im Magnetfeld der Erde.



meisten der auf ihren Oberflächen lagernden leichteren Gase in den Weltraum entwichen. In jeder Masse blieb nur ein verdichteter Kern von schwereren Elementen übrig. Aus manchen dieser Kerne wurden dann die Planeten, die wir heute kennen.

Die zweite Theorie liegt der von Kant und Laplace entwickelten Theorie näher. Sie geht von der Annahme aus, daß die Sonne zuerst aus einer Urgaswolke entstand und daß die Planeten erst später dazukamen. Während sie sich entwickelte, rotierte die Sonne immer schneller und nahm die Form eines abgeflachten Ellipsoids an. Je mehr sie sich verdichtete, desto schneller rotierte sie und flachte zunehmend ab, bis sie aussah wie eine dünne, tellerähnliche Masse mit der dichtesten Zusammenballung von Materie im Zentrum. Als diese abgeflachte Sonne sich auf einen Durchmesser von etwa 120 Millionen km verdichtet hatte, lösten sich Teilchen ihres äußeren Randes von der Zentralmasse ab und bildeten einen Ring um sie. Dieser Ring aus Gasen und Staub enthielt die Materie, aus denen sich die Planeten formten. Während sich nun diese Planetenmaterie immer weiter entfernte, verlangsamte die Sonne ihre Geschwindigkeit. Dieser Doppelprozeß ergab sich, wie wir bereits





Die Magnetosphäre der Erde mit den Van-Allen-Gürteln lenkt auf unterschiedliche Weise die nicht eingefangenen Teilchen ab. Die Zeichnung stellt verschiedene Flugbahnen dar, die von diesen Teilchen mit hoher Geschwindigkeit beschrieben werden (die sog. „kosmischen Strahlen", die aus dem Weltraum kommen). Die Buchstaben a, b, c, d und e bezeichnen die verschiedenen Flugbahnen; in der Mitte ist die Erde. Der Buchstabe N bezeichnet den Nordpol.

Ein Ausschnitt der Van-Allen-Strahlungsgürtel, die durch das Magnetfeld der Erde entstehen. Die unterschiedliche Abschattierung der Farben kennzeichnet die Verteilung der elektrisch geladenen Partikel in den verschiedenen Schichten. Man sieht, wie abgeflacht die Gürtel auf der einen Seite sind, während sie sich auf der anderen Seite ausdehnen. Dieses Phänomen wird von dem sog. Sonnenwind verursacht, der von der Sonne erzeugt wird (rechts im Bild). Der Sonnenwind hat die Tendenz, die Teilchen, die von den Kraftlinien des Erdmagnetfelds eingefangen wurden, „wegzublasen".

beschrieben haben, durch die Wirkung der Magnetfelder; wenigstens ist dies eine weithin anerkannte Erklärung. Die Planetenmaterie kühlte ab, während sie sich durch den Weltraum bewegte, und die Gase und der Staub fingen an, sich in Form von Rauch und vielleicht Tröpfchen zu verdichten. Diese kalten Teilchen, die womöglich nur durch Zufall zusammengekommen waren, bildeten feste Körper von etwa Mondgröße, die durch die Schwerkraft zusammengehalten wurden und sich um die Sonne bewegten. Während sie größer wurden, wurden einige dieser festen Körper wieder unbeständig und zerbarsten in winzige, feste Teilchen. Die großen „Überlebenden" und die vielen Streuungen von kleinen Teilchen, alle in Bewegung, kollidierten in Millionen von Zusammenstößen, hefteten sich aneinander in immer größer werdenden Aggregaten und formten die neun Planeten, die wir heute kennen.

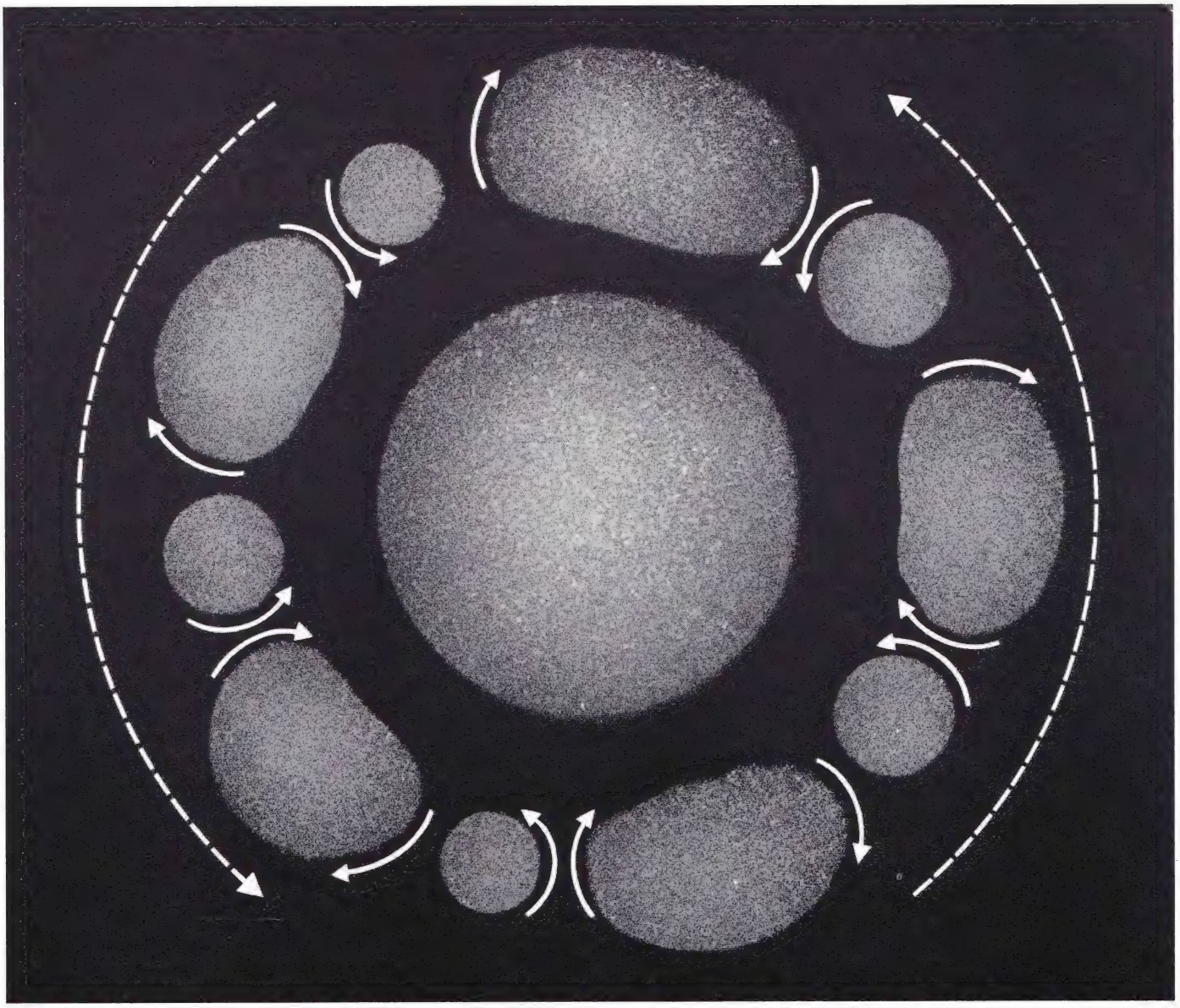
Wir sollten bei allem nicht vergessen, daß diese Folge von Ereignissen, die schließlich zur Bildung unseres Sonnensystems führten, nicht einzigartig war. Es gibt Millionen von Sternen in der Milchstraße, die unserer Sonne ähnlich sind. Auch sie drehen sich langsam; auch sie enthalten die Arten von Materie, aus der die Sonne besteht. Daher ist es kein leeres Gedankengespinst, wenn sogar ein konservativer Astronom sagen würde: „Da draußen in der Milchstraße gibt es vielleicht eine Milliarde Planetensysteme wie das unsere".

Wie die kleineren Himmelskörper des Sonnensystems entstanden

Niemand kann sagen, welche der zwei Theorien sich durchsetzen wird. Beide Theorien weisen darauf hin, daß das Sonnensystem in seinen frühen Entwicklungsphasen voll von kosmischem „Schutt" gewesen sein muß. Zwischen dem einen Planeten und seinem nächsten Nachbarn muß eine Art Rauchschleier gewesen sein, durch den das Licht der Sonne ziemlich getrübt wurde. Eine Eigenschaft der Sonne heute ist, daß sie fortwährend Teilchen in alle Richtungen verströmt. Diese bilden die sogenannten *Sonnenwinde.* Die Sonnenwinde sind imstande, leichte Gase und andere Materie „wegzublasen". Man vermutet, daß es schon Sonnenwinde gegeben hat, als das System noch jung war. Obgleich sie damals weniger stark waren, müssen sie bereits imstande gewesen sein, die Schuttschleier allmählich aufzulösen.

Viele Teilchen und fast nicht mehr wahrnehmbare Körper, die kreuz und quer um die Sonne kreisten, müssen über die Grenzen des Sonnensystems hinaus in den kalten intergalaktischen Raum getrieben worden sein. Man nimmt an, daß eine riesige, extrem kalte Wolke aus diesem kosmischen Schutt, die sich in der Frühgeschichte des Sonnensystems gebildet hatte, den Ursprung der Kometen mit ihren gefrorenen, aber hell leuchtenden Köpfen und ihren zerstäubten Schweifen darstellt. Während all dies geschah, bildeten sich die Planeten. Dabei, so vermuten die Wissenschaftler, formte sich eine abgeflachte Scheibe aus Gas und Staub um jeden „Embryoplaneten". Diese Scheiben enthielten die Materie, aus der sich die planetarischen Satelliten entwickelten. Während sie um die Planetenzentren rotierten, zerbrachen die Scheiben in Einzelkondensationen, die sich zusammenzogen und zu Monden wurden, die ihrerseits wiederum die Planeten umkreisten. Dies alles entspricht im kleinen den oben geschilderten Vorgängen, durch welche die Planeten aus der Sonne entstanden sein sollen.

Nur der Merkur und die Venus haben keine Monde, da sie viel näher an der Sonne liegen als alle anderen Planeten. Sie wurden darum den



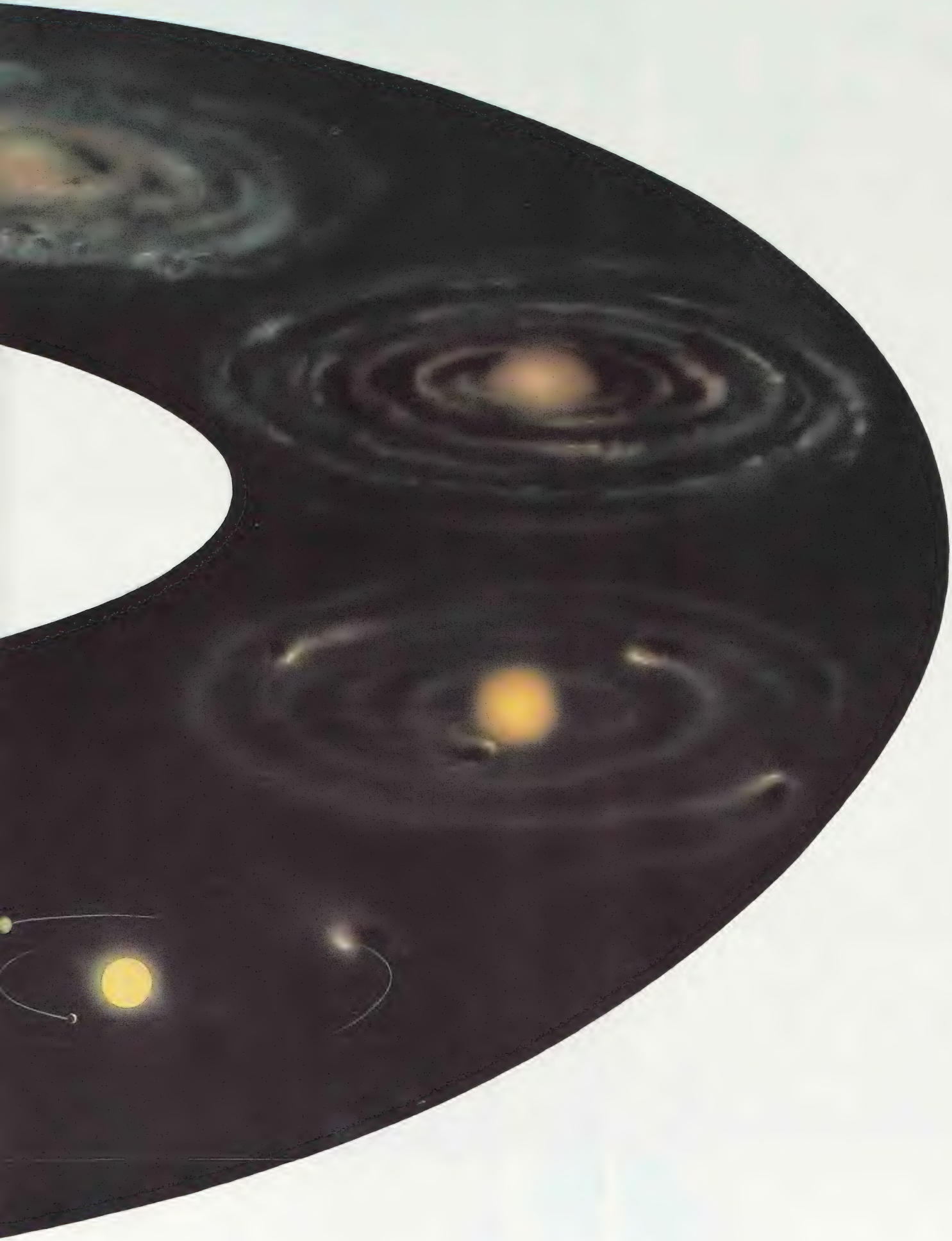
Die Bildung des Sonnensystems nach von Weizsäcker: Wirbelsysteme umkreisten die Sonne im Nebelhaufen und bildeten mit den Gaswolken die Quelle der kugelförmigen Massen, die dann zu den Planeten wurden.

Sonnengezeiten unterworfen und drehten sich deshalb niemals schnell genug, um Materie für die Bildung eines Mondes freizugeben.

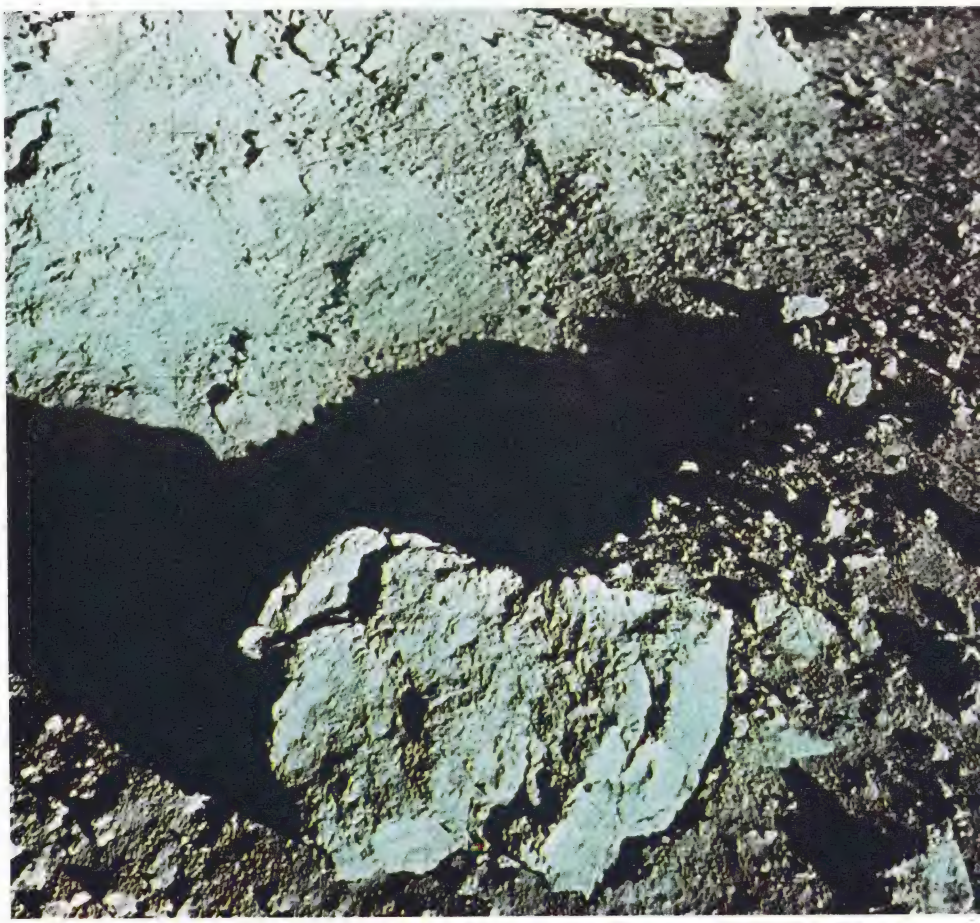
Wie paßt nun diese Theorie zu dem, was wir über unseren Mond wissen? Leider nicht sehr gut. Im Gegensatz zu den meisten seiner Schwestersatelliten anderswo im Sonnensystem kreist der Mond auf fast derselben Ebene um die Erde, auf der die Planeten um die Sonne kreisen. Außerdem ist, wie schon oben angemerkt wurde, die Mondmasse, verglichen mit der Erdmasse, viel größer als bei vergleichbaren Verhältnissen zwischen anderen Satelliten und deren Planeten. Tatsächlich wurde behauptet, daß Erde und Mond in Wirklichkeit einen Doppelplaneten darstellten. Also ist eine neue Theorie erforderlich, um den Ursprung des Mondes zu erklären.

Vermutungen über den Ursprung des Mondes haben viele Theorien hervorgebracht, von denen manche ziemlich phantastisch und seltsam

Die Entstehung der Planeten durch Verdichtung von Urnebel. Der schwarze Streifen zeigt in der Reihenfolge von links oben nach links unten die einzelnen Phasen, die nach aller Wahrscheinlichkeit stattgefunden haben:
a) die Urgaswolke bzw. der Urnebel;
b) die Gaswolke bzw. der Urnebel flacht sich als Folge der Rotation ab;
c) innerhalb der Scheibe ballt sich die Ursonne zu einem mächtigen, zentralen Körper zusammen, um sie herum eine Anzahl kleinerer Zusammenballungen – die zukünftigen Planeten;
d) die zunehmend akzentuierte Verdichtung;
e) die ungefähre Anordnung in unserem Sonnensystem, wie wir sie heute kennen. Die Sonne hat sich bereits geformt, und die Planeten stabilisieren sich;
f) die heutige Anordnung; zur Vereinfachung beschränken wir uns dabei auf vier Planeten.



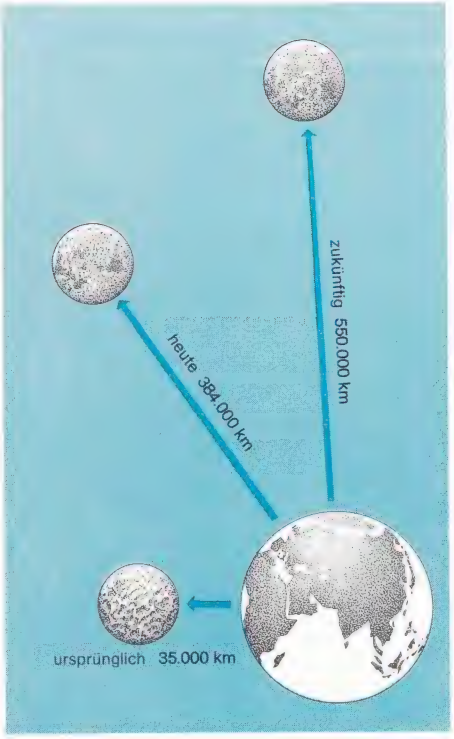
Die ältere Vorstellung von der Entstehung unseres Mondes. Heute wird die Theorie, nach der sich der Mond von der Erde während des Formationsprozesses getrennt haben soll, nicht mehr allgemein akzeptiert.



Mondgesteinsbrocken, 1969 von den Apollo-12-Astronauten fotografiert. Sie zeigen eine Welt, die ganz anders ist als die der Erde.

sind. Eine der beliebtesten dieser Theorien wurde zuerst von dem britischen Astronomen Sir George Howard Darwin (19. Jahrhundert) vorgetragen, dem Sohn des Biologen Charles Robert Darwin. Seine sogenannte *Spaltungstheorie* behauptet, daß vor vier oder fünf Milliarden Jahren ein großes Stück aus unserem Planeten Erde herausgerissen wurde – vielleicht aus dem heutigen Bereich des pazifischen Ozeanbekkens – und zum Mond wurde. Die vielen Einwände gegen diese Theorie hatten zur Folge, daß sie zunächst verworfen wurde. Inzwischen ist sie aber in einer modifizierten Form wieder aufgenommen worden. Mittlerweile schlossen neue geophysische Daten und Gesteinsproben des Mondes, die durch Apollo 11 und 12 zur Erde gelangten, den Pazifik als Ursprungsgebiet des Mondes aus.

Die Debatte über eine Reihe anderer Theorien und Variationen hält noch an. Eine z. B. besagt, daß der Mond sich völlig unabhängig irgendwo anders im Sonnensystem gebildet habe, daß er sich dann zufällig in das Schwerefeld der Erde verirrte und dort „eingefangen" wurde. Aber vorläufig ist der Streit von einer Schlichtung weit entfernt, obwohl die hochinteressanten Mondsonden und Mondlandungen des letzten Jahrzehnts uns zweifellos der richtigen Antwort näher gebracht haben.



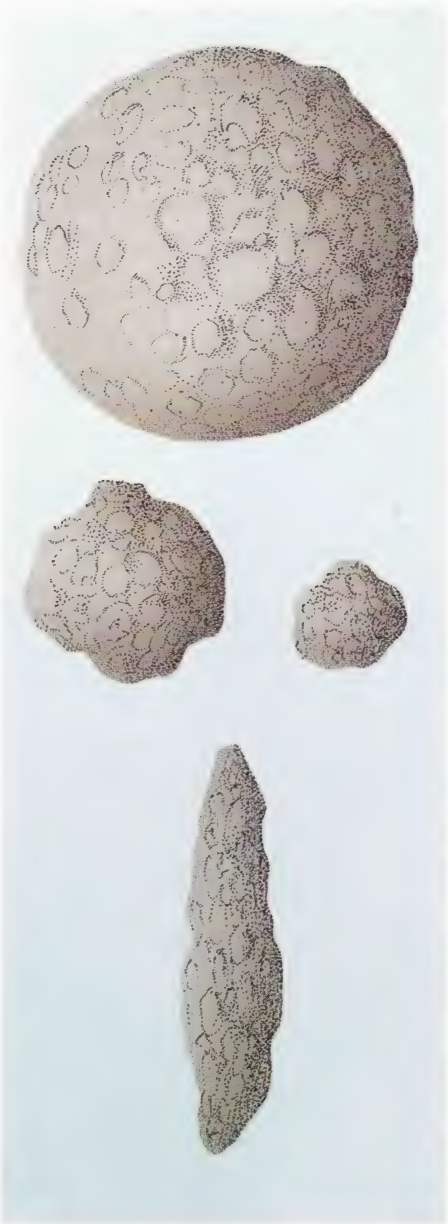
In weit zurückliegenden Zeiten befand sich der Mond sehr nahe an der Erde. Aber er entfernte sich langsam und wird sich in Zukunft noch weiter entfernen. Diese Änderungen sind eine Folge der „Gleichgewichtsstörung" im Erde-Mond-System. Sie gehen im wesentlichen vom Mond aus: Seine Anziehungskraft auf die Ozeane der Erde bewirkt die Gezeiten, und das Gewicht der Gezeitenwelle verlangsamt die Drehbewegung der Erde und bringt sie etwas aus dem Gleichgewicht.

Die Entstehung der Asteroiden und Meteoriten

Ein weiteres Rätsel im Zusammenhang mit dem Ursprung des Sonnensystems stellen die Asteroiden und Meteoriten dar. Zwischen Jupiter und Mars gibt es eine Lücke in der erstaunlich regelmäßigen Abfolge der Planeten. Statt eines anderen Planeten entdeckten Astronomen in diesem Raum über 40 000 kleine, die Sonne umkreisende Objekte. Dies sind die *Asteroiden* oder kleinen Planeten. Der Größe nach reichen sie von Ceres mit ihrem 770 km betragenden Durchmesser bis hin zu denen, die so klein sind, daß sie nur als Lichtpünktchen zu sehen sind. Sind die Asteroiden die Überreste eines Planeten, der sich aufgelöst hat? Oder sind sie die Überreste eines Urkörpers, der niemals zur planetarischen „Reife" gelangte? Diese Fragen faszinieren die Astrophysiker, da die

Linke Seite: Ein typischer Krater, wie ihn der Absturz eines großen Meteoriten auf der Erde verursacht. In diesem Falle handelt es sich um den Barringer-Krater in Arizona, ungefähr 1 200 m breit. Oben sehen wir ein Bruchstück eines großen Meteoriten, der 1891 an dieser Stelle gefunden wurde und fast 3 kg wog.

Vermutlicher Anblick eines Asteroiden von einem vorbeifliegenden Raumschiff aus. Die Asteroiden sind Gesteinsmassen, die im Weltraum kreisen.



entsprechenden Antworten Hinweise für die Formation des Sonnensystems geben könnten. Die Asteroiden könnten entweder ein sehr frühes Stadium planetarischer Entwicklung darstellen, oder sie sind die außergewöhnlichen Ergebnisse eines Entwicklungsgangs, den die anderen Planeten nicht durchlaufen haben.

Einen ebenso geheimnisvollen Ursprung haben die *Meteoriten.* Bei ihnen handelt es sich um winzige Stückchen von Materie, die sich in Scharen um die Sonne bewegen und erst als Sternschnuppen sichtbar werden. Dies geschieht, wenn sie, durch Reibungswärme erhitzt, als glühender Strahl die obere Erdatmosphäre durchqueren. Die meisten von uns haben schon einmal in einer klaren Nacht gesehen, wie sie am Himmel aufleuchten. Zu gewissen Jahreszeiten durchquert die Erde die Umlaufbahn eines Kometen und trifft auf die Trümmer, die er zurückgelassen hat. Die Staubteilchen dieser Trümmer sind als *Sternschnuppenschwarm* von etwa 50 Sternschnuppen pro Stunde zu sehen – wenn der Himmel nicht durch grelle Stadtlichter halb verdeckt ist. Diese Sternschnuppenschwärme sind voraussagbar; ihre „Fahrpläne" erscheinen in Zeitungen, Kalendern und Jahrbüchern.

Von Zeit zu Zeit treffen Bruchstücke eines sehr großen Meteoriten mit ziemlicher Wucht auf die Erdoberfläche und reißen z. T. beträchtliche Krater auf. Einige dieser Gesteinsbrocken aus dem Weltraum sind in Museen zu bewundern. Manche Meteoriten könnten, wie die Asteroiden, auch Überbleibsel jener planetarischen Urkörper sein, die sich als erste im Sonnensystem bildeten. Genau wie die Mondgesteinsproben werden Meteoriten genaustens untersucht, um Hinweise über die Zusammensetzung des Erdinneren zu erlangen. Von gleichem Interesse sind natürlich die Krater, die diese großen Meteoriten bei ihrem Einschlag auf der Oberfläche unseres Planeten hinterlassen haben und die Ähnlichkeit mit Mondkratern haben.

Oben: Darstellung größerer Asteroiden bzw. Planetoiden. Der größte von ihnen ist Ceres, kugelförmig und mit einem Durchmesser von rund 800 km. In der Abb. ist er oben zu sehen; darunter sind Vesta, Juno und Eros. Der letztere, der eine charakteristisch gestreckte Form hat, hat ungefähr die Ausdehnung der Insel Manhattan.

Die frühen Entwicklungsstadien der Erde

Wir wenden uns nun zur Erde zurück – allerdings nicht zu dem Planeten, auf dem wir heute wohnen. Wir kehren dahin zurück, wo wir sie verlassen haben – in ihre Frühgeschichte. In dieser Zeit war sie noch eine kugelförmige Masse aus kaltem Gas und Staubwolken, die durch die Schwerkraft zusammengefügt worden waren. Wir setzen unsere Darstellung fort mit dem Stadium, in dem die Temperatur dieser festen Planetenmasse wahrscheinlich unter dem Schmelzpunkt lag. Wie wir jedoch schon auf unserer Phantasiereise zum Erdkern bemerkten, gibt es zwei ganz unterschiedliche Bestandteile unter der Erdkruste – einen hauptsächlich aus Silicat bestehenden Mantel und einen flüssigen, aus Nickel und Eisen bestehenden Kern. Dieser Struktur wegen sind viele Geologen zu dem Schluß gekommen, daß trotz ihrer kalten Anfangsphase die Erde sich beträchtlich erwärmt haben und zu irgendeinem Zeitpunkt in ihrer Geschichte flüssig gewesen sein muß.

Für das Folgende müssen wir nun die Geochemiker um Nachsicht bitten: Stellen wir uns zwei Flüssigkeiten wie Öl und Wasser vor, die einer Vermischung widerstehen. Die leichtere Flüssigkeit drängt nach oben und wird zum Mantel, der langsam abkühlt. Dabei strahlt er seine Wärme in den Weltraum ab. Schließlich wird der Teil, der der Oberfläche am nächsten liegt, erstarren und zu dem werden, was wir heute als Kruste und oberen Mantel bezeichnen. Der untere Teil des Mantels behält eine Temperatur, die sehr nahe am Schmelzpunkt liegt und infolgedessen weniger starr ist. Gleichzeitig wird die schwere Eisenflüssigkeit des Kerns durch den Mantel isoliert und gibt ihre Wärme nur noch so langsam ab, daß sie flüssig bleibt.

Wie die Urerde sich erwärmte

Aber was bewirkte nun die Erwärmung? Ältere Theoretiker wie Laplace, die meinten, daß die Erde aus extrem heißen Gasen entstanden und direkt aus einer Gasphase in eine Flüssigkeitsphase übergegangen sei, bevor sie abkühlte und eine Kruste bildete, fanden diese Frage durchaus nicht schwierig. Für moderne Theoretiker mit ihrer Vorstellung von einer

kalten Anfangsphase ist die Antwort nicht ganz so einfach. Eine Wärmequelle ist natürlich die Energie, die von kleinen Körpern erzeugt wird, wenn sie zusammenstoßen, verschmelzen und schließlich von der Schwerkraft zu einer Masse zusammengepreßt werden. Diese Energie, die also als Wärme freigesetzt wird, kann Temperaturen erzeugen, die wie bei den Sternen hoch genug sind, um eine Kernspaltung in Gang zu setzen. Wir wissen aber, daß die Erdmasse nicht imstande ist, aus dieser Quelle allein solche Hitze zu erzeugen.

Die Hauptquelle, die zur Zeit von Laplace noch unbekannt war, entdeckte 1896 der französische Physiker Antoine Henri Becquerel: natürliche Radioaktivität. In den meisten Elementen, die wir in der Natur finden, sind die Atome sehr stabil. Ihre Kerne können nicht zerstört werden, es sei denn durch eine ungeheure Menge Energie. Durch alle chemischen Reaktionen hindurch verändert sich ihre Grundidentität nicht. Der zeitgenössische deutsche Physiker und Publizist Heinz Haber

Eine knappe Zusammenfassung der Erdgeschichte von ihren Anfängen bis zur Gegenwart: oben links die Gas- und Staubwolke, die der Erde vorausging; oben rechts die Erde, während sie sich aus dieser Wolke formte. Unten links ist die Erde bereits verdichtet, ihre Oberfläche wird jedoch von dichten Wolkenmassen aus Gasen verdeckt. Unten rechts ist die Erde zu sehen, wie sie heute aussieht.

weist darauf hin, daß fast alle Atome, die vorhanden waren, als die Erde entstand, auch heute noch existieren. Ausnahmen bilden lediglich sehr wenige Atome in der Atmosphäre und in den oberen Schichten der Kruste, die durch kosmische Strahlen vernichtet wurden. Es gibt jedoch eine Gruppe von Elementen, die nur eine begrenzte Lebenszeit haben und die ihre Identität doch verlieren, während ihre Atome zerfallen, d. h. sich einer ständigen Verwandlung unterwerfen. Es sind die sog. „radioaktiven Uhren": Jedes radioaktive Element hat eine meßbare Lebensdauer, die ein paar Sekunden oder auch Millionen von Jahren betragen kann. Eins der bekanntesten Beispiele ist *Uran.* Dieses Element zerfällt in einer Folge von ziemlich komplexen Verwandlungen und wird schließlich zu Blei, das nicht weiter zerfällt.

Die Geologen interessiert dabei die Tatsache, daß die Strahlungsenergie, die von radioaktiven Stoffen in der Erde freigesetzt wird, die Materie erwärmt, die sie umgibt. Dieser Prozeß findet heute immer noch

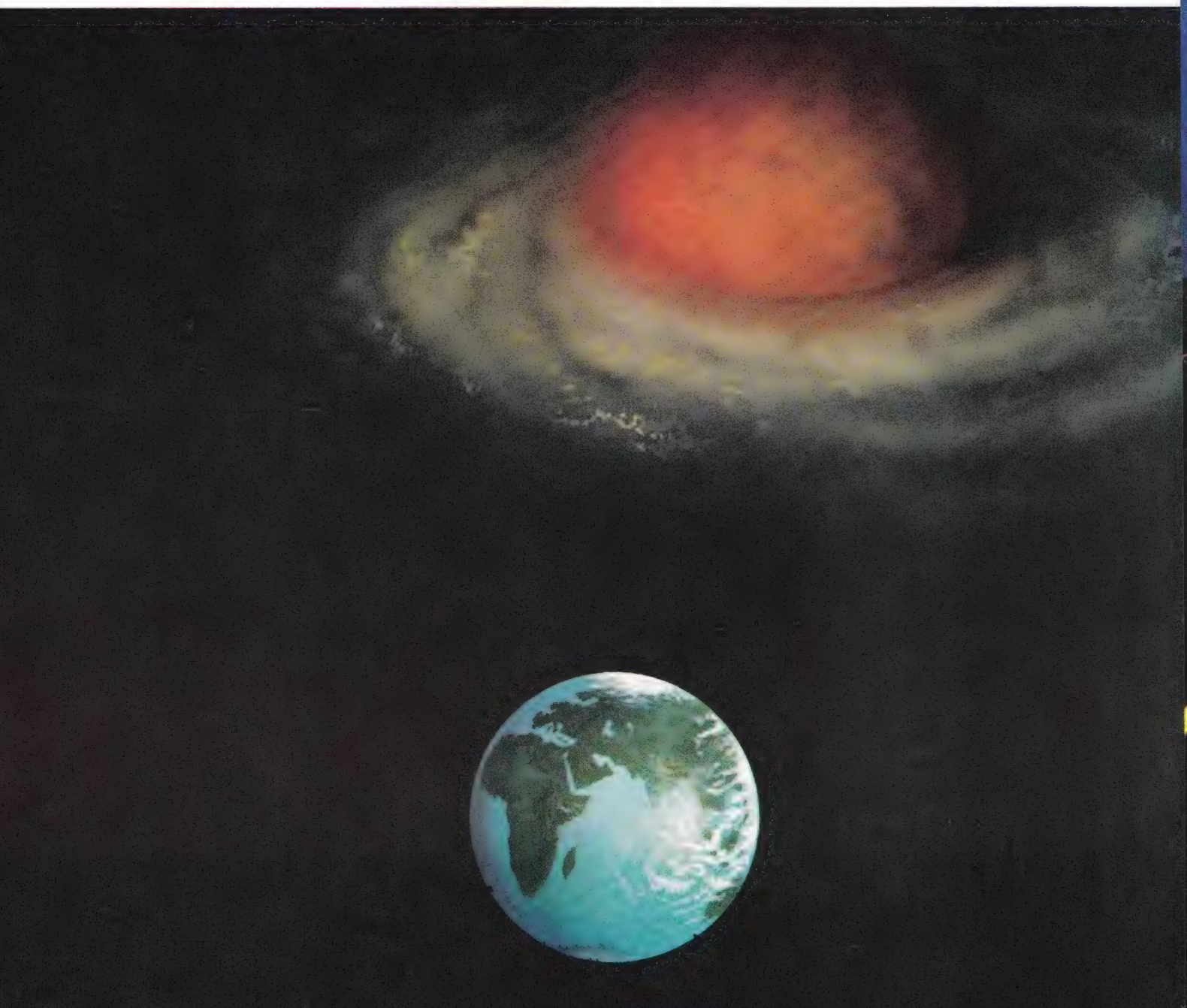


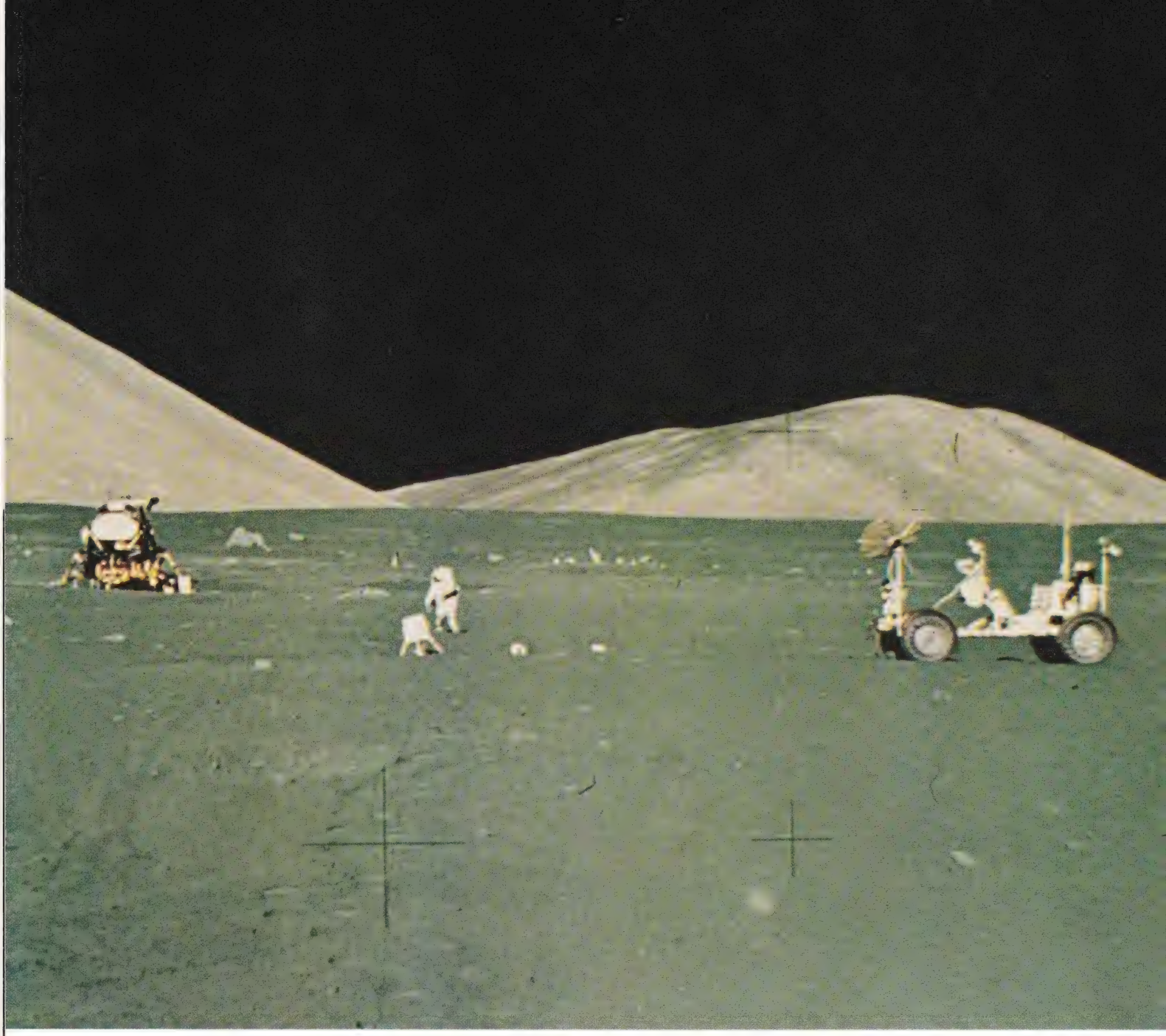
Abbildung vier verschiedener Mineralien, die es uns ermöglichen, das Alter von Gesteinsbrocken mit Hilfe der „radioaktiven Uhr" festzustellen. Von links oben im Uhrzeigersinn nach rechts: Uranit, Uran enthaltend; Orthoklas, Kaliumcarbonat enthaltend; Orangit, Thorium enthaltend; Torbernit.

statt, aber die größte Wärmemenge muß in der Frühgeschichte der Erde erzeugt worden sein, da seitdem die radioaktiven „Brennstoffe" sich ständig verringert haben. Also könnte die Radioaktivität genug Wärme geliefert haben, um die Erde zu verflüssigen.

Das Feuermeer der Urerde

Wir können uns heute unmöglich vorstellen, wie eine solche Erde damals aussah. Eine Urlandschaft, in der Gestein und Metalle wie flüssiges Wachs reichlich umherströmten. Die einzigen Überbleibsel aus jener Zeit sind die noch aktiven *Vulkane,* die über die Erde verstreut liegen. Aus ihren Kratern und den gewaltigen Rissen an ihren Abhängen ergießt sich glutflüssiges Gestein, ein Mineralaggregat in flüssigem Zustand, bei Temperaturen im Bereich von 915 bis 1 205 °C. Dieses geschmolzene Gestein steigt zunächst als *Magma* von dem oberen Mantel an die Oberfläche empor und fließt dann als *Lava* wie ein Strom von glutflüssigem Erz an den Flanken des Berges hinab, bis es sich langsam abkühlt und sich an der Luft verfestigt. Weite Bereiche der Erdoberfläche werden von hart gewordener Lava überlagert, die sich in Millionen von Tonnen aus riesigen Spalten ergossen hatte, lange bevor sich das Leben entwickelte.

Rechte Seite: Das erregende Feuerwerk (Abb. rechts außen) beim Ausstoß feuriger Lavabrocken aus dem Krater des Ätna bei Ausbrüchen im Jahre 1971.



Die Astronauten mit dem Mondfahrzeug (Mondrover) auf dem Mond bei der Suche nach Gesteinsproben der Mondkruste. Mondflug von Apollo 17, Dezember 1972.

Bevor wir uns von dieser einigermaßen schematischen Darstellung einer flüssigen Erde abwenden und Betrachtungen über ihre Uratmosphäre anstellen, möchten wir darauf hinweisen, daß nicht alle Wissenschaftler bereit sind, eine solche *flüssige Erdphase* anzuerkennen. Manche behaupten, daß die Erde schon immer zum größten Teil fest war. Nach dieser Theorie könnte in den ersten Milliarden Jahren ihrer Geschichte eine Urmischung, die vorzugsweise aus Silicaten und Eisen bestand, sich anders entwickelt haben. Sie könnte während einer Reihe von Schmelzperioden in verschiedenen Zonen des Erdinneren – einer Verschmelzung, die von der aufgestauten Wärme der Radioaktivität verursacht wurde – eine Schwerkrafttrennung durchgemacht haben.

Wenn allerdings die Verfechter der sog. Spaltungstheorie recht haben, daß nämlich der Mond sich in einer frühen Phase aus der Urerde herausgelöst hat, dann kann die Analyse der Mondgesteinsproben, die die Apolloastronauten von ihren Mondexpeditionen mitgebracht haben, zur Klärung auch der irdischen Verhältnisse beitragen; denn die Untersuchungen deuten darauf hin, daß auch der Mond in einer frühen Phase eine flüssige Oberfläche hatte. Damit sei dieser Aspekt unserer Beweisführung vorläufig aufgegeben. Wir wenden uns einer anderen Frage zu, die ähnlich umstritten ist.

Wie war die Uratmosphäre der Erde?

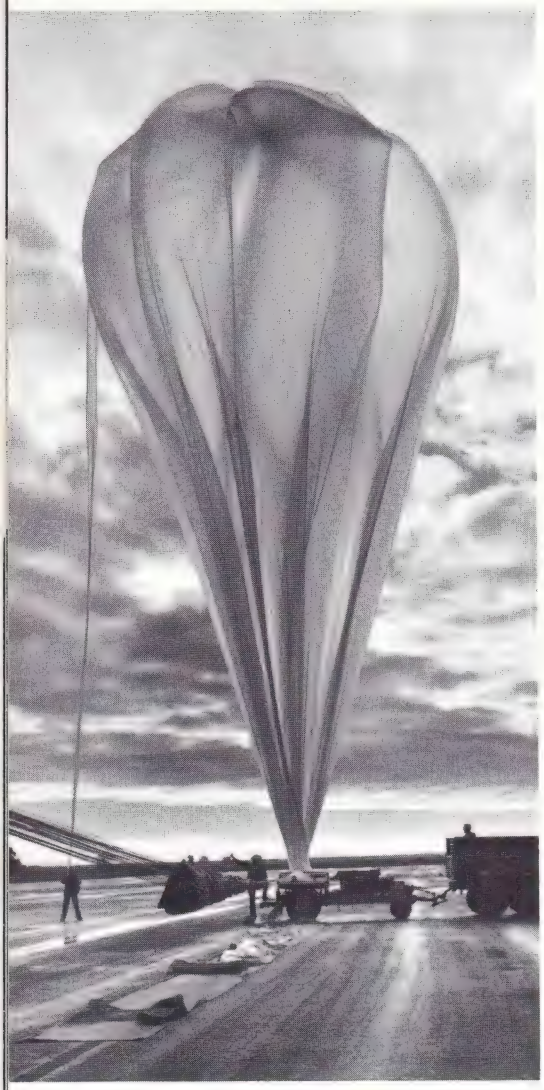
Das Leben auf der Erde heute wird durch die Gase in der Atmosphäre erhalten. Der „Ozean der Luft" ist ein so ungeheuer großer und wesentlicher Teil unseres Planeten, daß man annimmt, er habe von Anfang an die Erde umhüllt. Eine der bekanntesten Schilderungen der *Urerde* stellt eine wüste, glutflüssige Landschaft dar, halb verdeckt von einer undurchdringlichen, schwer lastenden Atmosphäre, voller herumwirbelnder Gase, darunter Wasser- und Kohlendioxiddämpfe. Aus dieser Mischung entstand, während die Erde sich abkühlte, unsere heutige Atmosphäre.

Diese Hypothese wurde jedoch von vielen Wissenschaftlern angefochten. Das Ergebnis dieser Kontroversen ist eine Theorie, nach der die Erde im Laufe ihrer Geschichte mindestens zwei Atmosphären gehabt hat – eine, die sich sehr früh auflöste, und eine andere, die sich später zu der Atmosphäre entwickelte, in der wir heute leben. Nach dieser Auffassung war die Uratmosphäre sehr dünn, und die heutige Atmosphäre entstand hauptsächlich durch die langsame Abgabe von verschiedenen Gasen und Wasserdampf aus der sich abkühlenden, immer noch geschmolzenen Mischung. Dieser Vorgang wird etwas unelegant als *Ausgasen* bezeichnet. Während sich das Leben auf unserem Planeten entwickelte, wurde der einzige fehlende Bestandteil (für uns der wichtigste), nämlich Sauerstoff, durch biologische Aktivität geliefert. Aber jetzt gehen wir zu schnell voran. Was geschah mit jener Uratmosphäre?

Wie die Erde ihre Uratmosphäre verlor

Wir erinnern uns, daß die Wolke, aus der das Sonnensystem sich entwickelt hat, hauptsächlich aus den Gasen Wasserstoff und Helium und einer kleinen Menge anderer Stoffe bestand. Obwohl die Hauptmasse jener Gaswolke sich zuerst zur Sonne verdichtete, zogen die Planeten einen Teil davon an, während sie sich formten. Folglich muß die Erde, als sie sich am Anfang verdichtete, eine Atmosphäre aus Wasserstoff und Helium, dem leichtesten aller Gase, gehabt haben. Die Riesenplaneten Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun bestehen hauptsächlich aus diesen Gasen.

Wir können eine Vorstellung von unserer *Uratmosphäre* gewinnen, wenn wir den Planeten Jupiter studieren. Betrachten wir durch ein Teleskop die farbigen Wolken dieses Planeten, die ihm ein so vielfältiges Aussehen verleihen, dann bemerken wir, wie klar umrissen diese Farben zum Zentrum hin sind, während sie an den Rändern in einen grauen Nebel übergehen, der sie schließlich verdeckt. Dieser feine Nebel ist das Anzeichen einer tiefen Wasserstoffatmosphäre, einer durchsichtigen, kalten Atmosphäre, deren Durchsichtigkeit mit dem schrägen Winkel, aus dem sie wahrgenommen wird, zusammenhängt.



Oben: Ein amerikanischer Forschungsballon wird in Kalifornien getestet. Gefüllt mit Wasserstoff, ist der Ballon startbereit und wird im nächsten Augenblick in die dichte Atmosphäre emporschweben.

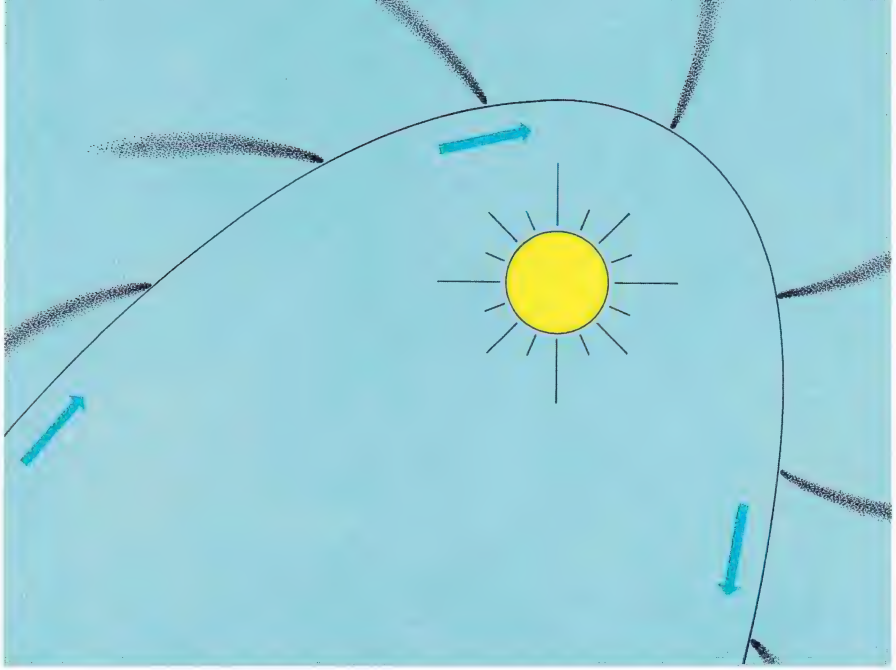
Am bemerkenswertesten ist die Atmosphäre der Sonne, die sich wegen ihrer extrem hohen Temperatur von allen planetarischen Atmosphären unterscheidet. Die Sonne ist eine gasförmige Kugel. Sie hat keine feste Oberfläche. Doch von einer gewissen Tiefe an, wo das Gas dichter ist, wird es undurchsichtiger. Dies gibt der Sonne eine eindeutige Kugelgestalt, als hätte sie eine feste Oberfläche. Auf dieser undurchsichtigen Ebene liegt eine niedrige *Sonnenatmosphäre.* Sie ist sehr schön, mit einem prächtigen, rosaroten Licht. Riesige, schlangenförmige Fäden aus Wasserstoff von unglaublich hohen Temperaturgraden (die *Protuberanzen* genannt werden) steigen aus ihren Schichtungen auf. Besondere Instrumente sind nötig, um diese Atmosphäre wahrzunehmen, da sie im blendenden Glanz der Sonnenkugel für das menschliche Auge unsichtbar ist.

Man wird sich wohl wundern, wieso die Sonne und die größeren Planeten immer noch so viel Wasserstoff zurückhalten können, während die Erde ihre Wasserstoffatmosphäre vor Äonen verloren hat. Um uns die Antwort leicht zu machen, denken wir uns einen Ballon von der Art, nach dem Kinder auf dem Jahrmarkt schreien – einen mit Helium gefüllten Ballon. Wenn ein Kind den Ballon nicht am Band festhält, wird er bald davonschweben, weil Helium, wie Wasserstoff, ein sehr leichtes Gas ist. Es wird von den schwereren Gasen der Atmosphäre nach oben gedrängt oder schwebt auf ihnen. Zunächst erinnern wir uns einer grundlegenden physikalischen Tatsache: Je heißer ein Gas wird, desto leichter wird es oder, um genauer zu sein, desto schneller bewegen sich seine Moleküle ziellos durcheinander. Auf einer glutflüssigen Erde hätte sich eine dünne Atmosphäre aus Wasserstoff und Helium schnell erwärmt. Erinnern wir uns auch der Anziehungskraft der Sonne und der anderen Himmelskörper, die größer sind als die Erde. Jetzt haben wir alle nötigen Faktoren beisammen. Die großen Massen der Sonne und der größeren Planeten banden ihre leichten Wasserstoff- und Heliummoleküle an sich und unterdrückten ihre Tendenz, sich in alle Richtungen zu entfernen. Um die viel kleinere, schmelzende Erde herum dehnten sich die Gasmoleküle nach und nach aus, bis sie aus der Atmosphäre „hinaussegelten" und sich in den leeren Raum verloren. So löste sich die Uratmosphäre der Erde auf wie Rauchfetzen, die in der Luft verschwinden.

In unserem Raumzeitalter ist es leicht zu verstehen, wie dies geschehen konnte. Wir werden an dieses Phänomen jedesmal dann erinnert, wenn ein Satellit der Anziehungskraft der Erde entkommt und sich auf die Reise zu einem anderen Himmelskörper macht. Um dies zu ermöglichen, ist ein gewaltiger Schub nötig – so gewaltig, daß er das Raumschiff mit einer gewissen Geschwindigkeit vorantreiben kann (die sogenannte *Fluchtgeschwindigkeit:* 11,2 km/s). Wenn das Raumschiff diese Geschwindigkeit nicht erreicht, bleibt es entweder in einer Umlaufbahn im Schwerefeld der Erde, oder es fällt zur Erde zurück.

In den frühen Stadien könnte dieses Entweichen der leichten Gase durch den *Sonnenwind* unterstützt worden sein. Er könnte denselben Effekt auf solch feine Materie gehabt haben wie ein tatsächlicher Wind. Ein solcher „Wind" fegt noch immer über den Mond und spielt mit den Kometen, deren leichtere Staubteilchen er „wegbläst" und so die Formation ihrer leuchtenden Schweife zur Entfaltung bringt. Als die Erde sich noch im Prozeß der Verdichtung befand, muß der Sonnenwind dieselbe Wirkung ausgeübt haben. Er wird wohl einen Teil ihrer leichteren Randbereiche, besonders die Wasserstoffatmosphäre, „weggeblasen" haben. Als sich später die irdische Magnetosphäre formte,

Linke Seite, rechts: Ihre gewaltige Anziehungskraft ermöglicht es den größeren Planeten, die Wasserstoffatmosphäre an sich zu binden. Dies ist der Fall beim Jupiter (oben auf dem Bild) und bei der Sonne. Ein Ausschnitt der Sonne (Bild unten) zeigt, wie die Protuberanzen aus der Wassersstoffatmosphäre aufsteigen. Dies wäre auf der Erde (Bildmitte) unmöglich, da die Erde nicht genügend Schwerkraft besitzt, um das Entweichen der leichten Wasserstoffmoleküle zu verhindern. Dafür ist sie zu klein. Die Pfeile um die Erde herum beschreiben die ungeordneten Bewegungen der Moleküle, die seit Urzeiten in den Weltraum entwichen sind.



Der Sonnenwind wirkt auf die Kometen ein und bläst ihre flüchtigeren Bestandteile weg, wenn sie zu nah an die Sonne geraten. Dies ist der Grund, warum die Kometen immer einen Schweif in sonnenabgewandter Richtung entfalten. Hier sehen wir den Schweif eines verlorenen Kometen, vom Sonnenwind in eine turbulente Bewegung gepeitscht (Komet Markos, 1957).

umgaben die magnetischen Kraftlinien den Planeten im Weltraum, und die Van-Allen-Gürtel bildeten eine Sperre gegen die elektrisch geladenen Teilchen des Sonnenwindes.

Seit zwei Jahrhunderten häufen sich Beweise von „Stürmen" geladener Teilchen aus dem Weltraum aus Untersuchungen in verschiedenen Bereichen, die scheinbar keine Beziehung zueinander haben. Trotzdem wurde die Existenz und Natur des Sonnenwindes erst in den letzten Jahrzehnten endgültig festgestellt. Im Jahre 1931 behauptete der amerikanische Geophysiker Sydney Chapman als Ergebnis seiner Untersuchungen über die Sonnenkorona, daß geladene Teilchen unaufhörlich in alle Richtungen von der Sonne wegströmten und Störungen im Magnetfeld der Sonne verursachten. Später lieferte der deutsche Astrophysiker Ludwig Biermann die entscheidende Bestätigung für diese Theorie, indem er zeigte, daß der Strahlungsdruck der Sonne, entgegen bisherigen Annahmen, nicht stark genug ist, um die Schweife der vorbeiziehenden Kometen zu verlängern. Aber der Druck eines Stroms geladener Teilchen wäre stark genug, die Trümmer in den Kometenschweifen auszubreiten. Im Jahre 1958 nannte der amerikanische Physiker Eugene N. Parker diesen Effekt, wie bereits erwähnt, „Sonnenwind". Die Existenz des Windes wurde schließlich von unbemannten Satelliten – den sowjetischen Satelliten Lunik I und Lunik II – nachgewiesen, die 1959 und 1960 die Umgebung des Mondes erforschten, sowie 1962 von der amerikanischen Raumsonde Mariner II, die ganz nahe an der Venus vorbeiflog.

In der Nähe der Erde reicht die Geschwindigkeit der Teilchen im Sonnenwind von 320 bis 710 km/s. Es ist ein Beweis mehr von der ungeheuren Ausdehnung des Sonnensystems, daß der Sonnenwind eine Million Tonnen Materie pro Sekunde von der Sonne fortträgt – und daß diese Materie im interplanetarischen Raum kaum zu entdecken ist. Wissenschaftler schätzen, daß in der ganzen Geschichte der Sonne weniger als 0,01% ihrer Masse vom Sonnenwind zerstreut wurde.

Der Sonnenwind ist natürlich wichtig für Forscher, die die Entwicklung der Atmosphäre unseres Planeten enträtseln wollen. Aber er ist auch von Interesse für Wissenschaftler, die die Kräfte erforschen wollen,

Der Start der Saturn V; auf ihrer Spitze die Kapsel, die in Kürze die Anziehungskraft der Erde überwinden wird. Kap Kennedy, 16. Juli 1969.

die unser Wetter bestimmen. Verstehen wir erst seine möglichen Wirkungen auf wiederkehrende atmosphärische Bedingungen, dann werden langfristige Wettervorhersagen zuverlässiger und genauer sein. Während Astronauten und Satelliten mehr Daten über die Wirkung der „Gezeiten" des Sonnenwindes zusammentragen, werden sie vielleicht auch wichtige Hinweise für unsere „Wetterfrösche" aufstöbern.

Ein Blick zurück, ein Blick in die Zukunft

Dieses Thema wollen wir später wieder aufnehmen. Jetzt wollen wir zu derjenigen frühen Erde zurückkehren, die ihrer Uratmosphäre beraubt ist und auf die Entstehung einer neuen, lebenserhaltenden Gashülle wartet. Die Bestandteile lagen bereit in den dichten, giftigen Wolken aus Wasserdampf und Gasen, die an die Oberfläche der flüssigen Mischung aufstiegen und beim Abkühlen der Masse abgegeben wurden. Die meisten dieser Gase würden die Fluchtgeschwindigkeit der Gase der Uratmosphäre nicht erreichen, die jetzt entwichen waren, würden aber festgehalten und allmählich zur zweiten Atmosphäre werden, die diese Erde zu einem so atemberaubenden Anblick vom Weltraum aus macht, wie ihn das Bild der Apolloastronauten am Anfang dieses Buches zeigt.

Die Verwandlungen, die die neue Erde vor der Entstehung des Lebens durchmachte, sind Kapitel, die niemals zu Ende geschrieben werden können. Besonders einige der geophysikalischen Theorien werden nach mehr als einem halben Jahrhundert kalter Ablehnung und ebenso leidenschaftlicher Befürwortung immer noch überprüft. Jede Ausgabe der wissenschaftlichen Zeitschriften bringt neue Daten und Überarbeitungen. Aber Wissenschaftler leben heute trotz der Kontroversen über größere und kleinere Details in einer Zeit, in der einige der phantasievollsten Vermutungen anfangen mit der Wirklichkeit übereinzustimmen. Wissenschaftler aller Fachgebiete arbeiten an dem Versuch, die verschiedenen Abschnitte der Erdgeschichte zu rekonstruieren. Was folgt, ist der Abriß des tatsächlichen Geschehens, soweit die Bemühungen dieser Forscher einen solchen Überblick schon zulassen.

Oben links: Beim Ausbruch geben Vulkane ungeheure Mengen Dampf in Verbindung mit verschiedenen Gasen ab. Hier sehen wir eine Dampfsäule während eines Ausbruchs auf der Insel Surtsey, Island.

Die Wandlungen der Urerde

Konvektionsströmungen in der Erde

Glühend wie ein Feuerball, strahlte die Urerde ihre Hitze in den Weltraum, während ihre Oberfläche durch Millionen von Jahren langsam abkühlte. Wenn die bereits abgekühlten und erstarrten Bereiche sich zusammenzogen, machten sie der wärmeren Materie Platz. Diese wurde dann auf die Erdoberfläche befördert, um dort ihrerseits wieder abgekühlt und erhärtet zu werden. So kam eine ständige Bewegung in die Erdmaterie, entsprechend den Konvektionsströmungen in der Atmosphäre.

Wir alle kennen die verschiedenen Arten von *Konvektionsströmungen.* Wenn man das Fenster eines geheizten Zimmers öffnet, fühlt man einen kalten Luftstrom an den Beinen. Die kalte Luft von draußen, die schwerer ist als die warme Zimmerluft, sinkt zum Boden ab. Die warme Luft andererseits steigt empor und treibt auf der schwereren Luft. Eine Strömung wird in Bewegung gesetzt, in der kalte Luft ständig die warme Luft nach oben abdrängt und schließlich das Zimmer auskühlt. Strömungen dieser Art werden noch augenfälliger in Flüssigkeiten. Ein weiteres Beispiel wäre etwa die Strömung, die in einem Topf Wasser entsteht, der auf dem Herd beheizt wird.

Auf der Urerde könnten Konvektionsströmungen wesentlich zu jener Struktur der konzentrischen Schalen beigetragen haben, die wir schon kennen. Am Anfang wären Silicate, Eisen und radioaktive Stoffe über die ganze Erde hin verteilt gewesen. Glutflüssiges Gestein stieg zur Oberfläche empor und nahm die radioaktiven Stoffe mit sich. Bei sinkenden Temperaturen bleiben radioaktive Elemente länger flüssig als die sie befördernden Mineralien. Es könnte also sein, daß sich diese schwereren Mineralien beim Abkühlen kristallisierten und versanken. Zurückgeblieben wäre dann der flüssige Teil, die radioaktiven Stoffe. Auf jeden Fall bildeten sich, während die Konvektionsprozesse abliefen, die Erdschichten: Nickel und Eisen schlossen sich zu einem unerhört dichten Kern zusammen, umgeben von einem um mehr als die Hälfte weniger dichten Mantel, der hauptsächlich aus Olivin (einem schweren

Linke Seite, rechts: Ein weiterer eindrucksvoller Anblick von Dampfwolken, die von einem Vulkan ausgespieen werden. Diese Aufnahme zeigt den Ätna während des Ausbruchs von 1971.

Eisen-Magnesium-Silicat) besteht. Darauf folgt eine dünne Schicht dunklen Basalts, und ganz oben befindet sich die kalte, starre Oberflächenschicht, in der das Material Granit vorherrscht. Diese Schicht ist die leichteste von allen.

Die Basaltschicht dicht unter der Erdkruste

Heute ist die *Erdkruste* verhältnismäßig kalt und ruhig. Als sie damals entstand, war ihre glutflüssige Oberfläche jedoch so bewegt wie die der Ozeane. Die Zusammensetzung dieses Meers war im Grunde einheitlich. Seine Hauptkomponente war *Basaltlava.* Auch heute noch besteht Lava in den meisten Fällen aus Basalt. *Basalt* hat in seinem festen Zustand, als Vulkangestein, eine charakteristische dunkle Farbe. Verflüssigt zeigt er sich erstaunlich beweglich; in diesem Zustand brodelt er noch heute in dem rauchenden Abgrund von Nyiragongo, so wie er einst über unserem ganzen Planeten brodelte. Wie wir gesehen haben, trat Basalt noch lange nach der endgültigen Formation der Erdkruste aus der Tiefe hervor und ergoß sich über große Landmassen. So entstanden einige der großen Basaltplateaus von heute; die Plateaus in Indien und im amerikanischen Nordwesten sowie die Vulkanmassen der Hawaii-Inseln bestehen alle aus Basalt.

Als die Temperatur fiel, kühlte sich das glutflüssige Gestein langsam ab und verfestigte sich. In dem ungeheuren Ozean aus flammender Lava bildeten sich schwimmende Inseln.

Hawaii selbst, die größte der Inseln, verdient nähere Betrachtung. Sie besteht aus vier Basaltvulkanen: Kilauea, Hualalai, Mauna Loa und Mauna Kea. Hawaii ist ein ungeheurer Haufen Basalt, der eines Tages aus dem Meeresboden des Pazifischen Ozeans hervorgebrochen war. Die Insel hat einen Durchmesser von rund 150 km. Ihre massive Struktur beginnt 5 000 m unter dem Meeresspiegel, und ihr höchster Punkt – Mauna Kea – richtet sich bis 4 169 m hoch über dem Meeresspiegel auf. Diese Zahlen geben einen kleinen Eindruck davon, wie groß der Basaltanteil in der Erdstruktur ist.

Es ist außerdem interessant zu wissen, daß weite Teile des Mondes aus Basaltgestein bestehen, besonders in jenen dunklen Bereichen, die für das bloße Auge gut sichtbar sind und in denen viele Menschen ein Gesicht erkannt haben wollen.

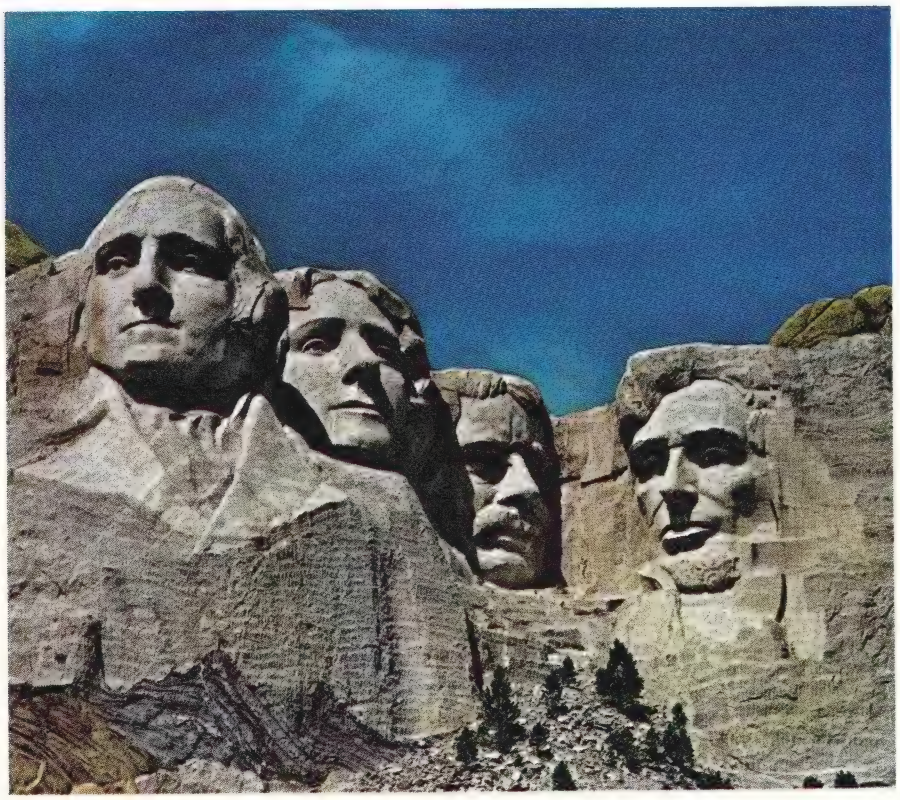
Granit und die erste Bildung der Erdkruste

Basaltschichten bilden die Böden der Kontinente und den Meeresboden, nicht aber das Grundgerüst bzw. die obere Schicht der Erdkruste. Diese besteht aus einer ganz anderen Gesteinsart, dem Granit. *Granit* hat eine helle Färbung mit Flecken, die von dunklen Mineralkristallen gebildet werden, und besitzt eine typische körnige („granuläre")

Struktur, von der sein Name abgeleitet wird. Man findet ihn in großen Massen in Nordamerika, besonders im Gebiet der Rocky Mountains und der pazifischen Küste. In den Alpen bildet er einige der höchsten und berühmtesten Berggipfel, wie z. B. den Mont Blanc. Im allgemeinen kann man sagen: Wo es große Bergketten gibt, gibt es auch Granit.

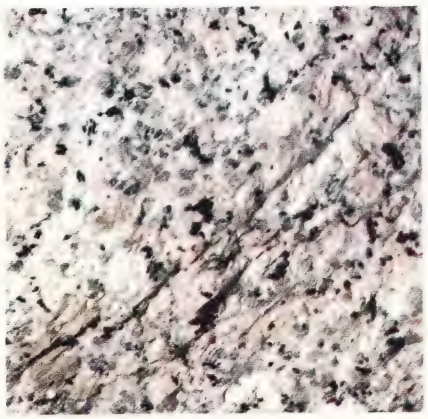
Bei der Untersuchung der Struktur von Kontinenten konnten Wissenschaftler feststellen, daß im allgemeinen der Granitboden nicht so alt ist wie der Basaltboden, daß er aber das Ergebnis einer andauernden Bildung über ausgedehnte Zeiträume hin darstellt. Vielleicht gibt es keine Frage, die komplexer ist oder mehr erhitzte Diskussionen provo-

Basaltische Lava neigt dazu, während sie sich verfestigt, die Form von Prismen anzunehmen. Hier ein Beispiel am Ufer des Flusses Omo in Äthiopien.

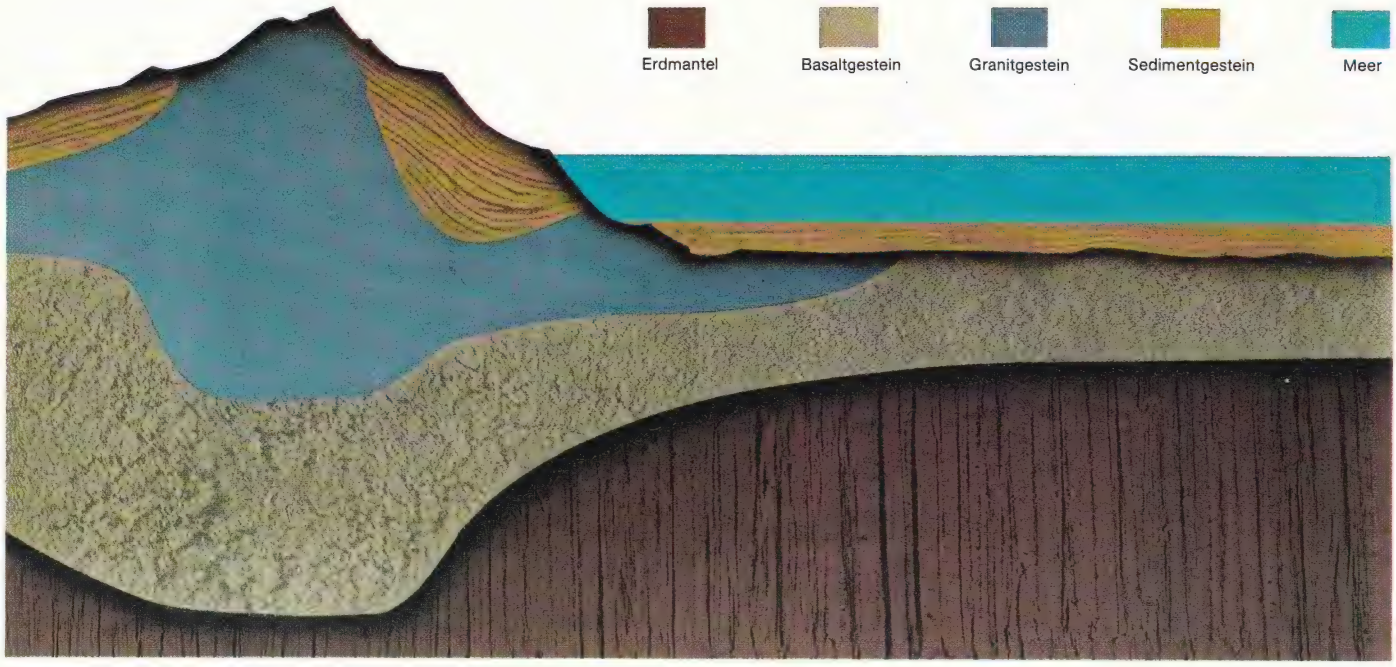


Granit ist das Hauptmaterial in vielen Felsformationen im amerikanischen Westen. Besonders häufig kommt er in den Black Hills vor. Unter diesen Gipfelgruppen befindet sich der Mount Rushmore, wo 18 m hohe Skulpturen der Präsidenten Washington, Jefferson, Th. Roosevelt und Lincoln aus dem Felsen gemeißelt wurden.

ziert hat, als die über den Ursprung und die Bildung von Granit. Heutzutage führt man allgemein die Entstehung der oberen Kontinentkruste auf eine allmähliche Ablösung von einer ursprünglicheren Kruste, die vorzugsweise aus Basalt bestand, zurück. Ein vereinfachtes Modell würde veranschaulichen, wie das plastische, glühendheiße Basaltgemisch an die Oberfläche steigt. Manche der dichteren Stoffe kühlen schneller ab und trennen sich von den granitenen Bestandteilen (sie „fraktionieren", würden die Geochemiker sagen). Ihr Gewicht läßt sie in der plastischen Masse einsinken, und die Granitteile bleiben in dem oberen Teil der sich bildenden Kruste zurück. Eine etwas lebhaftere Phantasie sähe hier einen leichten, sprudelnden Granitschaum, der aufquillt und sich von der kochenden Basaltflüssigkeit trennt.



Oberflächendetails von Granit (links) und Basalt (rechts). Diese beiden Gesteinsarten sind die Hauptbestandteile der Erdkruste.



Schematische Querschnittdarstellung der Erdkruste in ihrem heutigen Zustand. Die Granitmassen bilden das Rückgrat der Kontinente. Der Basalt hingegen bildet nicht nur die Grundlage der Kontinente, sondern auch die der Meeresböden.

Mit diesem kurzen Hinweis auf den sogenannten Primärgranit beenden wir unsere Beschreibung der Oberfläche der Urerde. Als die Temperatur auf dieser Oberfläche auf 1 000 °C abfiel, begann sich zum ersten Mal eine feste Kruste zu bilden. Schwimmende Felsinseln verdichteten und festigten sich und versanken wieder im brennenden Lavameer, da sie durch die Abkühlung schwerer wurden. Dieser Prozeß wiederholte sich ständig, und dabei wurde die Zahl dieser Inseln immer größer. Sie verdichteten sich zu immer ausgedehnteren Flächen, bis sich eine echte Kruste über dem immer noch feurigen Planeten gebildet hatte. Die Oberflächentemperatur dürfte zu jener Zeit auf etwa 800 °C gefallen sein. In der Kruste liefen bereits die „geologischen Uhren" – radioaktive Stoffe, deren gleichmäßige Zerfallsprozesse Äonen später den Wissenschaftlern die notwendigen Informationen geben sollten, um das Alter der Gesteinsschichten unseres Planeten zu bestimmen.

Das wechselnde Gesicht der neuen Erde

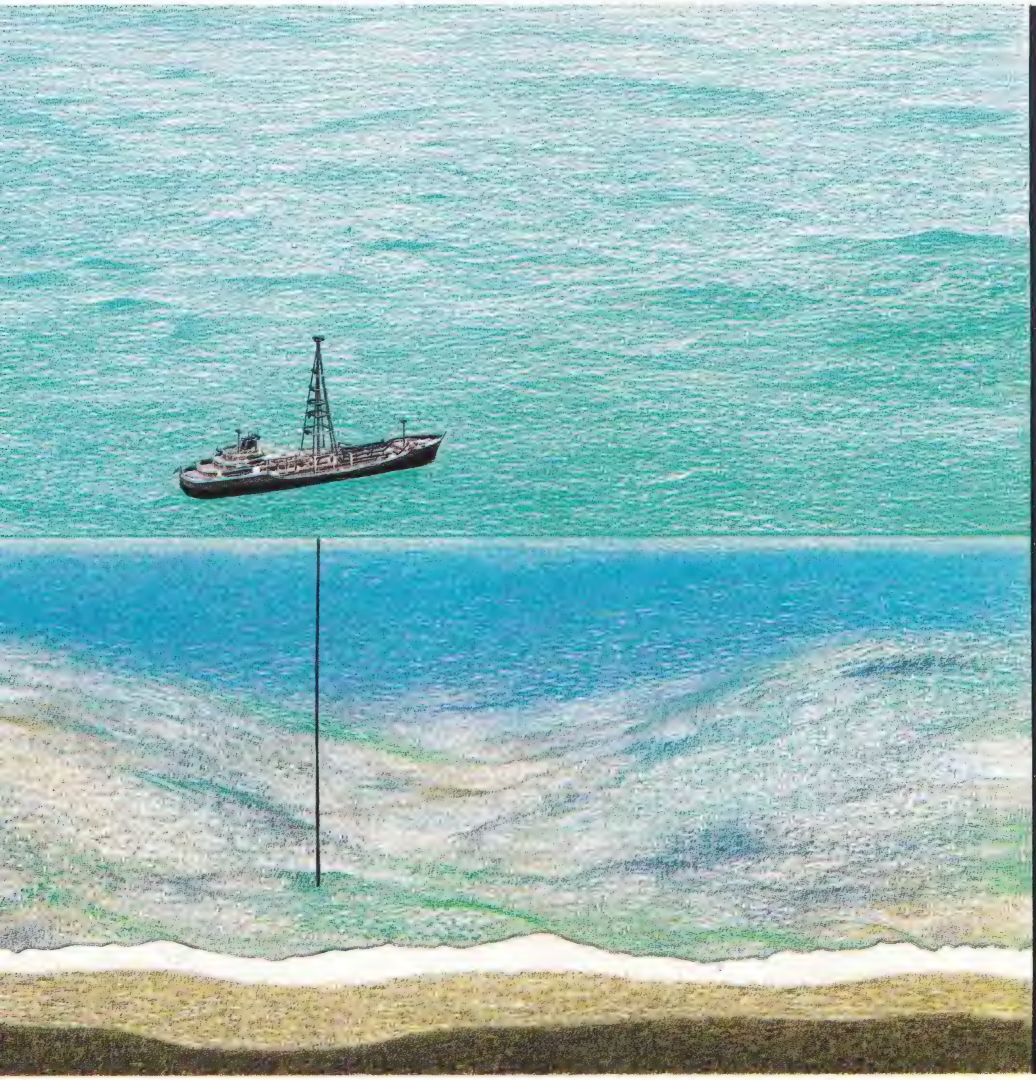
Als sich die feste Erdkruste bildete, kam die Bewegung auf der Erdoberfläche gleichwohl nur bis zu einem gewissen Grad zur Ruhe. Die Bewegung der Materie setzte sich im Erdinneren fort. Riesige Teile der neuen Erdkruste wurden verschoben, verlagert und schräg gestellt. In manchen Gegenden türmten sich Felsbrocken zu Gebirgslagen. Gewaltige Hochländer, Steilwände und Gipfel entstanden auf der Erdoberfläche. Zwischen ihnen gähnten unermeßlich tiefe Abgründe. Die Erdkruste, die frisch geformt und daher noch unfest war, verbog sich unter dem gewaltigen Druck des Mantels, und lange Erdspalten öffneten sich. Über die tieferliegenden Gegenden strömte glühende Lava, so daß sie abermals wie ein Feuermeer aussahen. Wo die Spalten in der Erdkruste eng oder durch Gesteinsmassen blockiert waren, wurde die Lava eingeschlossen. Ein Teil dieser Lava arbeitete und drängte sich durch

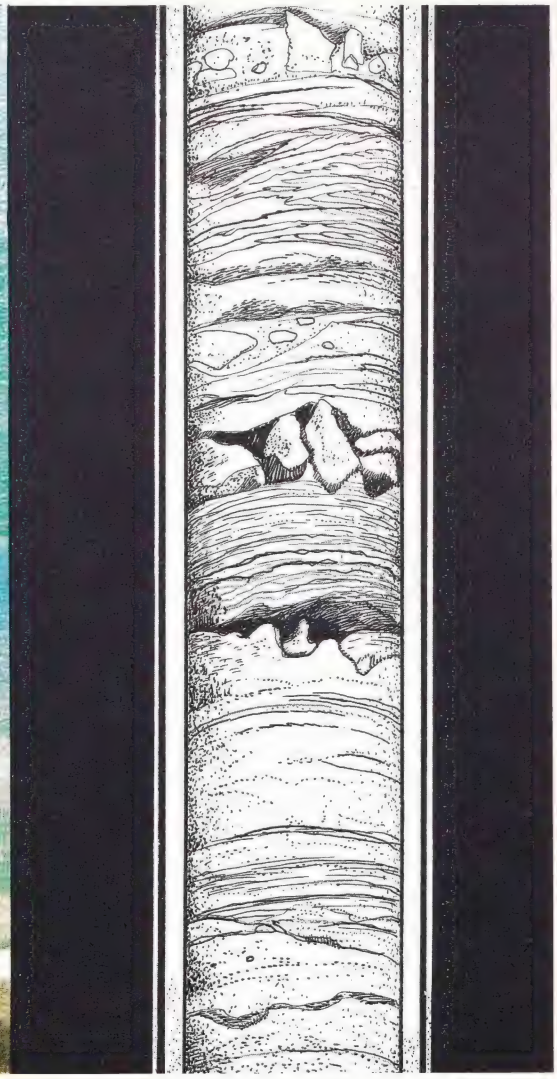
Schächte oder vertikale Spalten empor, die zu Brüchen in der Erdkruste führten. Um diese Öffnungen häufte sie sich auf und bildete die Vulkane, wie wir sie kennen.

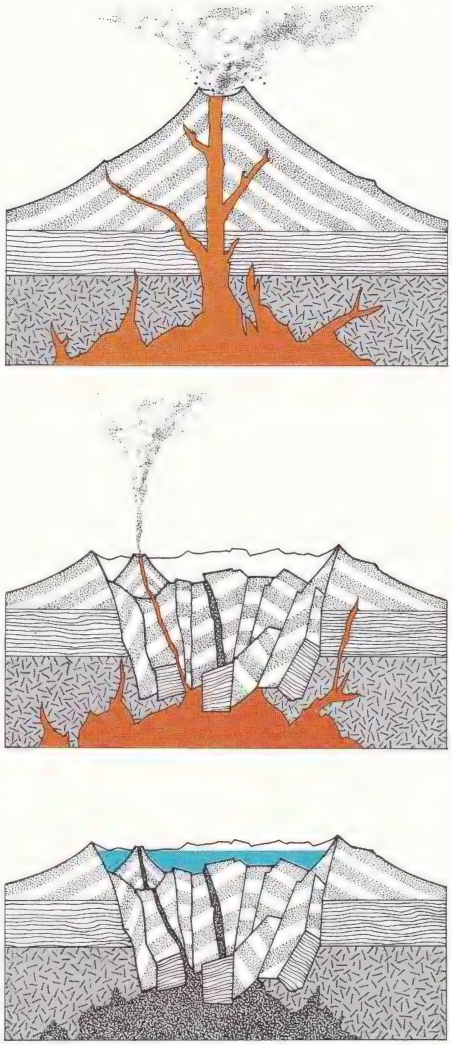
Die Landschaft der Erde fing an, sich drastisch zu verändern. Sie war von Schlackenhaufen und vulkanischen Kegeln übersät. Es war immer noch eine vernarbte, verlassene Welt, immer wieder von Erdbeben erschüttert, die durch vulkanische Eruptionen und Brüche in der noch nicht verfestigten Erdkruste verursacht wurden. Es gab weder grüne Wiesen noch schneebedeckte Berge oder Grasebenen: Das alles lag noch in einer fernen Zukunft, die erst Milliarden von Jahren später anbrechen würde.

Über diese vulkanischen Phänomene gibt es noch immer nicht viel zu sagen. Von den ersten Vulkanen ist uns keine Spur erhalten. Es ist darum unmöglich, ihre Geschichte zu rekonstruieren. Wir können jedoch annehmen, daß sie von ungeheurer Größe und gewaltiger Aktivität waren. Wegen dieser Aktivität stürzten ihre Kegel oft zusammen, so daß sie schließlich zu riesigen, kreisrunden Kraterkesseln wurden, in denen

Man hat auf dem Boden des Atlantischen Ozeans Urgestein gefunden, das sich immer noch durch die Kruste empordrängt. Die Zeichnung auf der gegenüberliegenden Seite zeigt ein Forschungsschiff, das eigens dafür ausgerüstet ist, den Meeresgrund anzubohren und Bodenproben zu entnehmen (Abb. rechts). In diesen Bodenproben befinden sich Sedimente aus verschiedenen Zeitaltern. Sie können in derselben Reihenfolge gefördert werden, in der sie sich ursprünglich abgelagert hatten.







Oben: Bildung einer „Caldera", eines erweiterten, kesselartigen Vulkankraters. Die Lavareserven unter dem Zentralgang entleeren sich so schnell, daß der Vulkangipfel einstürzt. Dabei entsteht eine solche Caldera, die mit Lava gefüllt sein kann.

Rechts: Meteoriten aller Größen fielen auf die neugebildete Erdkruste, die immer noch sehr heiß und mit Vulkanen übersät war. Beim Aufprall verursachten diese Meteoriten unzählige Krater, die denen auf dem Mond entsprechen.

die Lavaseen weiterkochten. Dabei verbrannten die schwarzen Felswände, die sie umgaben. Krater dieser Art kann man in vielen noch vorhandenen Vulkanen sehen, sowohl in erloschenen als auch in aktiven. Sie werden *Calderen* genannt. Einer der besser bekannten ist der *Crater Lake* in Oregon. Er hat sich aus einem Vulkan gebildet, der schon seit einiger Zeit erloschen ist und sich danach mit Wasser gefüllt hat. Sein Durchmesser beträgt etwa 10 km. Es gibt jedoch viele Calderen, die noch erheblich größer sind. Manche Mondkrater von komplizierter Form sehen ähnlich aus, sind allerdings fünf- bis zehnmal größer als die Erdkrater.

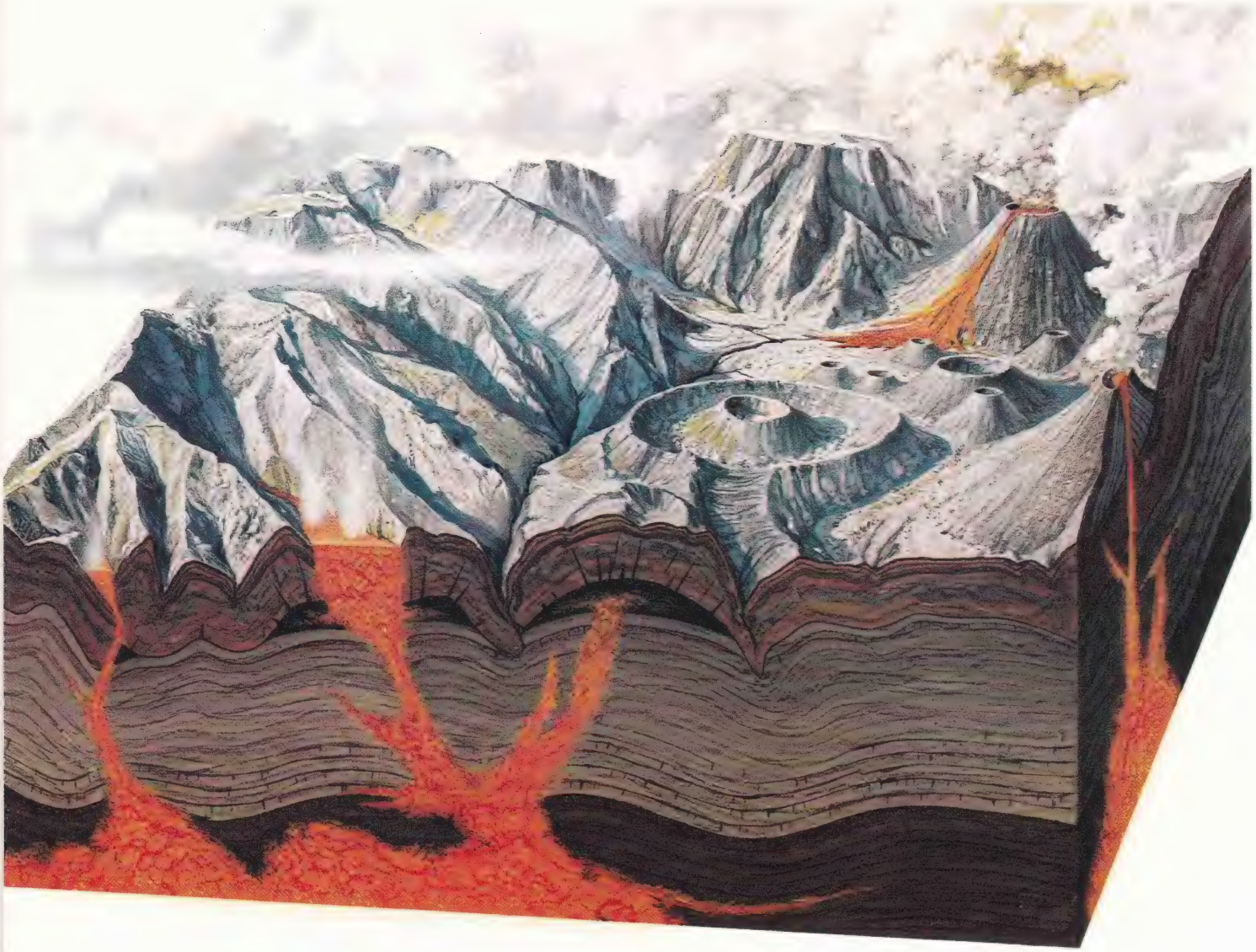
Unten: Luftbild vom Crater Lake in Oregon, einem bekannten Beispiel für eine Caldera, die heute einen See enthält. Im Hintergrund ein Abschnitt des äußeren Rands der Caldera; im Vordergrund der Zentralgipfel des Vulkans mit seiner Krateröffnung. Ähnliche Vulkanformationen dürfte es auf der Urerde häufig gegeben haben.

Die Gewalt der Vulkankräfte

Eine Vorstellung von den furchteinflößenden Kräften eines Vulkans kann man aus den Beschreibungen aufsehenerregender Ausbrüche in der Neuzeit gewinnen. Der bekannteste unter ihnen ist wohl der Ausbruch, der 1883 die unbewohnte Insel *Krakatau* vernichtete. Krakatau – in der Sundastraße zwischen Java und Sumatra in Ostindien gelegen – besaß einen kegelförmigen Zentralgipfel von 813 m Höhe. Dieser Vulkan war seit etwa 1680 nicht mehr tätig. Am 20. Mai 1883 gab es eine Serie von Explosionen, von denen jede einzelne so laut war, daß sie noch in einer Entfernung von 1 600 km zu hören war. Der Vulkan Krakatau war wieder ausgebrochen. Besucher aus Java kletterten zum Kraterrand hinauf und beobachteten, wie Dampf aus einer Spalte von 27 m Breite herausschoß. Die üppige tropische Vegetation ringsumher war mit feiner Vulkanasche bedeckt. Aber erst am 26. August, einen Sonntag, nahmen die Ereignisse eine Wende, die den schrecklichen Höhepunkt vorbereitete. An diesem Tag hörte man die erste einer Serie von gewaltigen Explosionen. Eine schwarze Wolke aus vulkanischem Schutt stieg kilometerhoch in die Luft. Die Bevölkerung von Java wurde die ganze Nacht hindurch von einer nicht enden wollenden Folge von Donner und Blitzen wachgehalten. Teile des Krakatau stürzten ein.

Am folgenden Morgen rissen vier gewaltige Hauptexplosionen die Insel auseinander. Die dritte von ihnen war die fürchterlichste Vulkanexplosion der Neuzeit. 1,6 km^3 Materie – Felsen, Gase, Staub und Asche – wurden in die Atmosphäre geschleudert und bildeten eine schwarze Wolke in etwa 75 km Höhe. Über einen großen Teil der Ostindischen Inseln brach die Dunkelheit herein. Das Getöse der Explosion reichte bis ins Zentrum des australischen Kontinents und bis hin zur Insel Rodriguez, die fast 15 000 km entfernt im Indischen Ozean liegt. Die Schallwellen benötigten vier Stunden, um diese Entfernung zurückzulegen. In der Zwischenzeit breitete sich vom eingestürzten Kegel des Vulkans her eine riesige Flutwelle aus, die 3 600 Menschenleben forderte und 295 Städte auf Java und Sumatra vernichtete.

Am 28. August war alles wieder ruhig. Wo Krakatau gestanden hatte – 120 bis 813 m hoch über dem Meeresspiegel – befand sich jetzt ein Unterseekrater, 270 m tief. Nur drei kleine Hügel ragten aus dem Wasser hervor. Ein gewaltiger Niederschlag von porösem Gestein vulkanischer Herkunft bedeckte große Teile des Indischen Ozeans. Drei Tage später fielen leichtere Teilchen, die durch Luftströmungen weitergetragen worden waren, auf Schiffe herunter, die sich 2 500 km entfernt befanden. In England und im Nordosten der Vereinigten Staaten traten unheimliche und sonderbare, grellgefärbte Sonnenuntergänge auf. Ihre Färbung ergab sich aus den feinen Staubpartikeln, die nach dem Ausbruch



von der Atmosphäre aufgefangen und anschließend von den Strahlströmen um die Welt getragen wurden.

Eine andere Art von Ausbruch, tödlicher als der des Krakatau, vernichtete 1902 die Stadt *Saint-Pierre* auf der Insel *Martinique.* Diese schöne karibische Stadt hatte 28 000 Einwohner, die im Schatten des Mont Pelé lebten, einer 1 397 m hohen, zackigen Masse aus dunklem Gestein. Die Einwohner von Saint-Pierre pflegten an dem blauen See zu picknicken, der den uralten Krater oben auf dem Pelégipfel füllte. Nur zweimal innerhalb eines Jahrhunderts hatte der Pelé Anzeichen eines Ausbruchs gegeben. Als am 23. April 1902 vom Mont Pelé etwas Rauch herübertrieb und ein leichter Schauer von Vulkanasche auf die Straßen fiel, war niemand weiter beunruhigt. Aber der alte Vulkan zeigte sich auch weiterhin unruhig, und der Aschefall wurde immer stärker. Die Einwohner wurden in den folgenden Tagen durch immer wiederkehrende Erdbeben und Donner zunehmend gereizter und nervöser. Am 5. Mai

erreichte die Spannung einen ersten Höhepunkt, als Wasser, das der Vulkan erhitzt hatte, sich über einen steilen Abhang in ein Tal ergoß. Schlamm und gewaltige Gesteinsbrocken wurden mitgerissen, und das Ganze jagte den Bergabhang hinunter. Diese kochendheiße Lawine tötete über 20 Arbeiter eines Zuckerwerks, bevor sie ins Meer stürzte. Dabei wurde eine Welle erzeugt, die den Hafen von Saint-Pierre überflutete. Nach diesem Vorfall wollten zahlreiche Bürger aus der Stadt fliehen; sie entschlossen sich dennoch zu bleiben, nachdem der Gouverneur der Insel und ein Ausschuß von Sachverständigen sie beruhigt hatten.

Am 8. Mai öffnete sich dann plötzlich ein gewaltiger Spalt in der Seite des Vulkans. Eine glühende, schwarze Wolke schoß aus dem Gipfel hervor. Sie war so kompakt, daß sich nur sehr wenig davon in der Luft verteilte. Der Rest donnerte den Berg hinunter – eine feurige Masse, extrem heiß, aus Dampf, Staub und Asche fegte durch die Stadt. In zwei Minuten war alles vorbei. Die Wolke verbrannte sogar noch Schiffe, die im Hafen vor Anker lagen. In diesen zwei Minuten kamen rund 40 000 Menschen ums Leben, einschließlich einiger Männer, die zu den Schiffsbesatzungen gehörten. Häuserdächer wurden weggefegt, und meterdicke Zement- und Steinwände wurden auseinandergerissen. Die Küste war so stark erhitzt, daß die Rettungsmannschaften stundenlang nicht an Land gehen konnten. Als dies endlich möglich war, fanden die Retter nur noch drei Überlebende, von denen einer innerhalb der nächsten Stunde starb. In jenem Sommer gab es mehrere weitere Ausbrüche des Pelé, in denen fünf Dörfer verwüstet und rund 2 000 weitere Menschen getötet wurden. Danach beruhigte sich der Vulkan.

Monate später stieg eine halbfeste Lavamasse bis in eine Höhe von 300 m aus dem Krater auf. Es bildete sich ein „Turm", der anschließend langsam zu einem schroffen Felsstumpf zerfiel. Im Jahre 1929 brach der Mont Pelé erneut aus. Diesmal dauerte der Ausbruch drei Jahre lang. Aber dieses Mal konnten mehr als 1 000 Einwohner aus der neu aufgebauten Stadt Saint-Pierre und der Umgebung rechtzeitig evakuiert werden.

Den nach der Dauer der Explosion und der Menge der ausgeschleuderten Vulkanmaterie sowie der Zerstörung der Vulkanstruktur vielleicht gigantischsten vulkanischen Ausbruch der Neuzeit hatte 1815 der Vulkan *Tambora*. Dieser Vulkan auf der Insel Sumbawa, 270 km östlich von Java, wurde durch eine monatelange Explosionskette erschüttert. Obgleich keine dieser Explosionen die Kraft der Krakatau-Explosion hatte, wurden mehrere Kubikkilometer Materie in die Luft geschleudert, und eine entsprechende oder sogar noch größere Menge brach in den Krater des Tambora hinein. Fast 1 500 m des Vulkangipfels verschwanden, und es bildete sich eine ungeheuer große Caldera von 23 km Umfang. Die Zahl der Todesopfer schwankt zwischen 45 000 und 80 000, wenn man zu den während des Vulkanausbruchs Umgekommenen auch die Leute zählt, die danach durch Krankheiten und Hungersnöte zu Tode gekommen sind. Es befand sich so viel Staub in der Luft, daß auf der ganzen Erde von verkürzten Tagen und unheimlichen Sonnenuntergängen berichtet wurde. Außerdem wurde die Sonnenwärme, die die Erdoberfläche erreichte, für mehrere Monate so erheblich vermindert, daß das Jahr 1815 „das Jahr ohne Sommer" genannt wurde.

Heute gibt es auf der Erde immer noch viele aktive Vulkane, und es wird jedes Jahr über viele verschiedene Arten von Vulkantätigkeit berichtet, aus Gegenden, die so weit auseinander liegen wie Island,

Linke Seite: Schematischer Aufriß eines Vulkangebiets. Die glühendheiße, schmelzflüssige Gesteinsmasse, das sogenannte Magma, steigt aus dem Erdinnern empor und strömt als Lava heraus.
Durch die breiteren Spalten in der Erdkruste
strömt die glühend-flüssige Lava ungehindert hindurch, bis sie feurige Seen bildet. Wenn die Öffnungen, die zur Erdoberfläche führen, sehr eng sind, häuft sich die Lava am Ausgang an und bildet vulkanische Kegel.

Die glühende Lava strömt wie ein Fluß die Hänge des Vulkans hinab. Hier sieht man den Ätna beim Vulkanausbruch von 1971

Hawaii, Afrika und Indonesien. Der Vulkanismus ist immer noch ein sehr eindrucksvolles Phänomen auf der Erde. Aber große Ausbrüche sind seltene Ereignisse, und in vielen Teilen der Erde hat jegliche Vulkantätigkeit seit langem aufgehört. So sieht es heute auf der Erde ganz anders aus als in jener längst vergangenen Zeit, als sich der ganze Planet in Aufruhr befand und gähnende Krater, dampfende Berge und riesige Lavaströme eine unheimliche Landschaft bildeten. Vulkantätigkeit ist bei der Formung unseres Planeten immer ein wesentlicher Bestandteil gewesen.

Außer durch innere Umgestaltung wurde die Urerde auch durch fallende *Meteoriten* beeinflußt. Es befand sich im Raum um die Erde immer noch eine erhebliche Menge Gesteinstrümmer – Überreste der Urmaterie, die nicht absorbiert worden waren, als das Sonnensystem sich bildete, und sich im Laufe der Zeit zu Gesteinsbrocken von unterschiedlicher Größe verdichteten. Viele dieser Gebilde müssen auf die Erdoberfläche geprallt sein und dabei große Krater in der frischgebildeten Kruste aufgerissen haben.

Die zweite Erdatmosphäre

Auf Grund der Phänomene, von denen wir gerade gehört haben, muß die Oberfläche der Urerde Ähnlichkeit mit der heutigen Mondoberfläche gehabt haben. Aus dem Weltraum gesehen, hätte unser Planet jedoch keine Ähnlichkeit mit der gegenwärtigen Erscheinung unseres Mondes gehabt. Der Mond wird nicht durch einen atmosphärischen Schleier verhüllt. Seine Krater sind jederzeit durch das Teleskop sichtbar, während die Erde zu jener Zeit in eine dicke, dichte Atmosphäre gehüllt war, die ihre karge Landschaft verbarg. Also wären vom Weltraum aus keine genauen Details zu erkennen gewesen. Die Venus ist immer noch von Wolkenschichten bedeckt, die unseren neugierigen Teleskopen jeglichen Einblick in ihre Geographie verwehrt. Genauso unsichtbar muß die Urerde gewesen sein.

Die zwei ursprünglichen Gase, Helium und Wasserstoff, waren schon entwichen. Um unseren Globus schwebten Gasschichten, die in der Urschmelzmasse aus dem Inneren der Erde an die Oberfläche gestiegen waren und die, während diese Masse sich abkühlte, freigesetzt wurden. In den dichten Wolken, die aus den aktiven Vulkanen aufstiegen, befanden sich ungeheuer große Mengen von Wasserdampf, der Kohlendioxid und viele andere Gase (wahrscheinlich Wasserstoff, Ammoniak und Methan) enthielt. So gewaltig war diese Abgabe von Gas und Wasser, die bisher in der Erde gebunden gewesen waren, daß sie nicht nur die Bestandteile einer neuen Atmosphäre lieferten, sondern auch das Wasser, das unsere Weltmeere bildete. Wenigstens ist dies die Meinung mancher Wissenschaftler.

Außer in ganz seltenen Fällen erreichten die Bestandteile dieser neuen Atmosphäre niemals die Fluchtgeschwindigkeit. Statt dessen wurden diese Gase von der Erde „festgehalten" und dadurch zu einem Teil unseres Planeten. Nach einer allmählichen Umwandlung wurden sie schließlich zu unserer heutigen Atmosphäre. Damit war ein wesentlicher Teil jener Umweltbedingungen geschaffen, welche die Entstehung von Leben möglich machen sollten.

Nachtanblick der turbulenten Lavasee im Kilauea-Crater (Hawaii). Einst war die ganze Erde so glühend-flüssig wie die Lava in diesem Vulkansee. Auf der anderen Seite des Sees wird die feurige Lava hoch in die Luft geschleudert.

Aber es fehlte noch ein sehr wichtiger Bestandteil: Die zweite Atmosphäre der Erde enthielt keinen freien Sauerstoff. In diesem Punkt stimmen die einander widersprechenden Geochemiker miteinander überein. Es ist eben der hohe Sauerstoffgehalt der Erde, der unsere Atmosphäre im ganzen Sonnensystem so einmalig macht. Woher stammt der *Sauerstoff?* Von allen noch unbeantworteten wissenschaftlichen Fragen bleibt diese eine der verwirrendsten. Die interessanteste Möglichkeit ist, daß Sauerstoff sich aus dem Leben entwickelt, das er selbst aufrechterhält. Im Prozeß der Photosynthese benutzen grüne Pflanzen die Energie des Sonnenlichts, um Wasser und Kohlendioxid in die Bestandteile zu zerlegen, die sie für den Aufbau ihrer Körpersubstanzen benötigen. Ein Nebenprodukt der Photosynthese ist der Sauerstoff, der in die Atmosphäre abgegeben wird. Doch damit eilen wir wieder dem sehr viel langsameren Gang unserer Geschichte voraus.

Die Erde bereitet sich auf das große Ereignis vor: das Leben

Unter der Wolkendecke

Vom blendenden Sonnenlicht umhüllt, steuerte die Erde vor Milliarden von Jahren unter einem Meer von leuchtenden Wolken durch den Weltraum; aber unter der strahlenden Decke herrschte Dunkelheit. Kein Sonnenstrahl konnte diese trübe, dichte Atmosphäre durchdringen. Die Oberfläche des Planeten wurde ausschließlich von der düsteren, flackernden Pracht der Flammen, die von Vulkanausbrüchen herrührten, erhellt. Die Hitze war erstickend und der atmosphärische Druck so groß, daß alles Leben, wenn es dies gegeben hätte, sofort erloschen wäre. Dieser Zustand wurde durch Dampf verursacht, der sich nicht zu Wasser kondensieren konnte und so reichlich vorhanden war, daß er einen Druck auf die Erdoberfläche ausübte, ähnlich dem Druck, dem man heute mehrere hundert Meter unter dem Meeresspiegel ausgesetzt wäre.

Druck, Hitze und Dunkelheit waren nicht die einzigen unfreundlichen Bedingungen dieser schrecklichen Umwelt. Es kam nämlich hinzu, daß die Atmosphäre mit giftigen Gasen förmlich durchtränkt war. Es befand sich kein freier Sauerstoff darin, und in den tiefliegenden Gegenden hatte sich eine erstickende Kohlendioxidmenge angesammelt. Wegen der Temperaturunterschiede zwischen dem Oberflächengestein, das noch extrem heiß war, und den hohen Wolken, die dem eiskalten Weltraum ausgesetzt waren, bildeten sich gewaltige Konvektionsströmungen in der Atmosphäre der Urerde. Außerdem konnten auf der Erdoberfläche durch die unterschiedlichen Temperaturen in verschiedenen Breitengraden heftige Winde entstehen. So heulten unaufhörlich Wirbelstürme über diesem Felseninferno. Die Winde erzeugten Wirbel von Sand, Staub und Vulkanasche, die das kahle Felsenantlitz der Berge abschliffen. Auf diese Weise begann durch die sogenannte *äolische Erosion* (nach Äolus, dem griechischen Gott der Winde) einer der natürlichen Formationsprozesse auf die Erdoberfläche einzuwirken. Eine derartige Erosion findet noch heute statt – besonders in den trockenen Gegenden der Erde. Sie verändert allmählich und gleichmäßig die Konturen des festen Landes.

Es „regnet", und die ersten Wasserströme bilden sich

Das Licht der Sonne erreichte die Urerde überhaupt nicht, da sie in dichte Wolken gehüllt war. Da es noch kein Wasser gab, erodierten die Winde die immer noch glühenden Felsen und die Hänge der flammenden Vulkane.

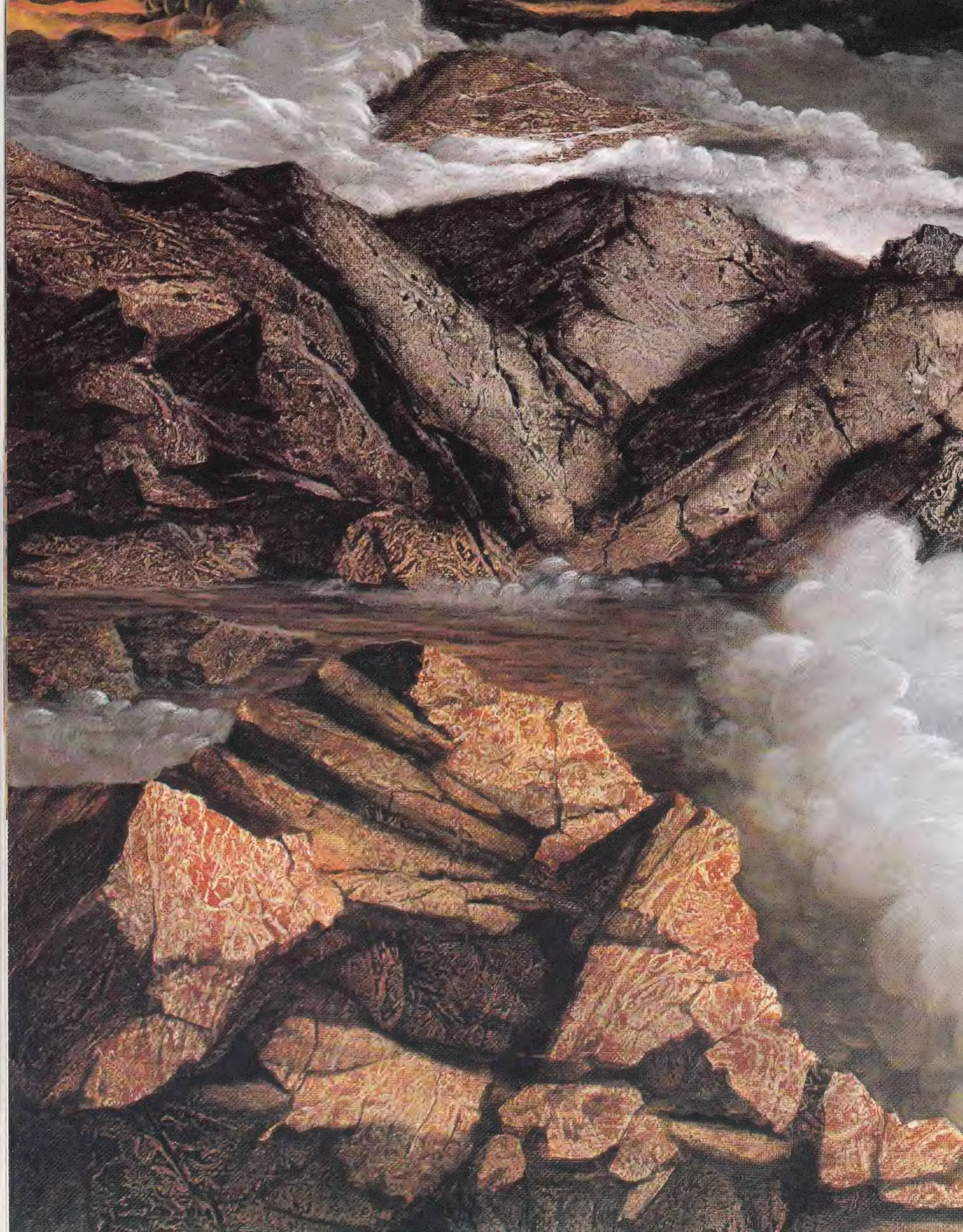
Während sich die Erdkruste nach und nach abkühlte, nahm auch die Temperatur der Atmosphäre ab. So konnte sich der Wasserdampf kondensieren, und es fing an zu „regnen". Allerdings konnten die Wassertropfen die Erdoberfläche zunächst noch nicht erreichen. Wenn sie sich der heißen Erde näherten, wurden sie wieder zu Dampf. Später ging die Temperatur der Atmosphäre so weit zurück, daß der Regen die Erdoberfläche erreichen konnte. Da aber der Boden selbst immer noch außerordentlich heiß war, verdampfte auch dieses Wasser sofort wieder. Schließlich kühlten sich hier und da die Felsen so weit ab, daß sich das Regenwasser auf der Erdoberfläche sammeln konnte. Wieder einige Zeit später (natürlich handelt es sich dabei um riesige Zeiträume) verlangsamte sich die Verdampfungsgeschwindigkeit abermals, und erste Seen und kleine Flüsse entstanden.

In dieser Aufnahme der Kathedralschlucht in Nevada sind die Auswirkungen der Erosion deutlich zu erkennen.

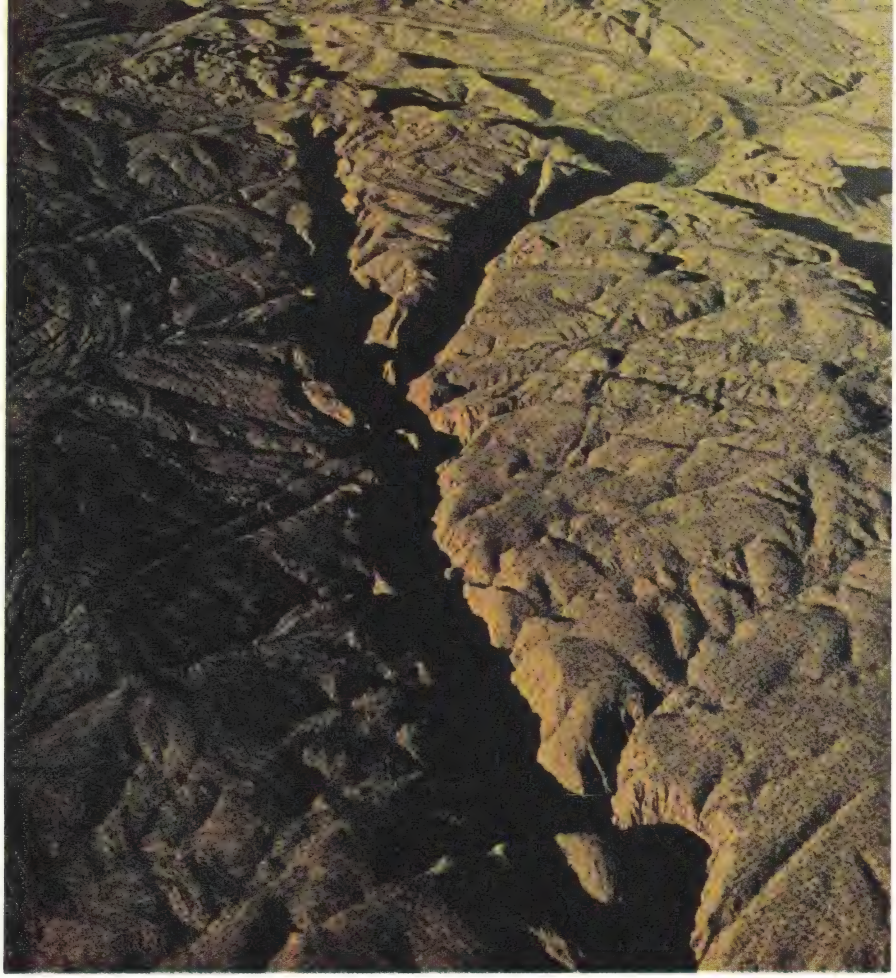
Es ist fast unmöglich, sich die Ereignisse vorzustellen, die diese immer noch sehr heißen Regenfälle auf der Erdoberfläche verursachten. Auf den höheren Hängen muß es ungeheure Erdrutsche gegeben haben, da sich die Berge noch nicht verfestigt hatten. Reißende Ströme bahnten sich einen Weg durch die Massen von Lavabrocken, die aus den Vulkanen herausgeschleudert worden waren, und durch die Aschen- und Staubmengen, die von den Stürmen zusammengefegt und aufgetürmt worden waren. Das Wasser stürzte in die Täler hinab und riß dabei kochendheißen Schlamm und Kies mit sich, die sich in der Tiefe wieder aufhäuften. Trotz allem bildete sich vorläufig kein Netz von Wasserläufen, die in irgendwelche zukünftigen Meere oder Seen hätten einmünden können. Nach einigen verhältnismäßig kurzen Güssen verdampfte nämlich auch ein großer Teil dieses Wassers oder wurde von dem dürren Erdboden absorbiert.

Die Entstehung der Ozeane

Im Laufe dieser ersten „Regenzeiten" kühlte sich der Planet immer weiter ab. Schließlich hatte sich so viel Wasser angesammelt, daß sich dauerhafte Becken, gefüllt mit einer trüben, heißen Flüssigkeit, in den



Der erste Regen verwandelte sich auf der verwüsteten Oberfläche der Urerde in heißen Dampf. Etwas später aber bildete der Regen vorübergehend Sturzbäche und Ströme, die die Urgebirge erodierten und abtrugen und kochendheißen Schlamm in den Tälern auftürmten.



Erosionsfurchen in einer australischen Wüste, die von einem jener reißenden Urströme hinterlassen wurden. Diese Furchen in den Wüsten geben uns eine Vorstellung davon, wie die allerersten Wasserläufe auf der Erde ausgesehen haben mögen.

tiefen Tälern bildeten, die zwischen den Höhen der Erdoberfläche lagen. Diese Wasserflächen trugen natürlich stark zur weiteren Abkühlung der Erdoberfläche bei. Dies wiederum löste weitere Regenfälle aus, und so sammelten sich immer größere Mengen von Wasser an. Nach einer wissenschaftlichen Theorie fing es dann eines Tages wirklich an zu regnen. Unglaublich dichter, nicht enden wollender Regen ergoß sich vom Himmel und überflutete einen großen Teil der Erde. Nach dieser Theorie fielen während eines Zeitabschnitts von hunderttausend oder vielleicht sogar Millionen von Jahren buchstäblich die Meere vom Himmel. Zur gleichen Zeit verursachten heftige Winde eine Serie von Orkanen, die mit unglaublicher Wucht tobten. Diese *Sintflut* übte nicht nur eine starke physikalische Wirkung auf die Erde aus, sondern brachte auch chemische Veränderungen mit sich. Die vulkanischen Gase lösten sich in den Fluten auf und erodierten das Gestein. Die ersten Seen, die sich vereinzelt gebildet hatten, vereinigten sich; nach und nach entstanden so die Ozeane.

Die dichte Wolkendecke der Erde löste sich zunehmend auf, bis nur eine dünne Schicht übrigblieb. Durch diese Schicht sickerte ein schwaches Licht auf die Oberfläche des Planeten. Was von der ursprünglichen Wolkenmasse übrigblieb, wurde von den feuchtwarmen Winden auseinandergerissen. Endlich konnten die Sonnenstrahlen die Erdatmosphäre durchdringen. Sie verliehen dieser düsteren, öden Landschaft eine neue, kräftigere Farbe. Zum ersten Mal wurden die vielfältigen Schattierungen der Felsen sichtbar, und das Wasser zeigte einen Anflug von Blau. Die lange Urnacht war zu Ende!

Vorbereitung auf das Leben

Vor der Zeit des großen Regens enthielt die Uratmosphäre der Erde folgende chemische Verbindungen: Außer Kohlendioxid gab es Methan, Ammoniak und wahrscheinlich etwas Stickstoff. Methan entstand durch die Verbindung von Wasserstoff und Kohlenstoff; Ammoniak entstand durch die Verbindung von Wasserstoff und Stickstoff. Dies war das Material, das notwendig war, damit sich die ersten Bausteine lebender Zellen bilden konnten. Nur Sauerstoff fehlte noch. Von all diesen Bestandteilen ist Kohlenstoff für die Entstehung von Leben der wichtigste. Aus Gründen, die mit seiner chemischen Struktur zusammenhängen, ist der *Kohlenstoff* imstande, viel mehr Verbindungen zu bilden als jedes andere Element. Verbunden mit Wasserstoff z. B. bildet Sauerstoff nur zwei neue Verbindungen, Stickstoff sieben. Kohlenstoff jedoch kann mehr als 2 300 Verbindungen eingehen. Ein Großteil der Geschichte vom Beginn des Lebens, wie ihn die moderne Wissenschaft rekonstruiert hat, hängt damit zusammen, daß Kohlenstoffverbindungen immer komplexer wurden und in immer komplexere Prozesse einbezogen wurden.

Außer diesen chemischen Verbindungen gab es noch etwas anderes von sehr großer Bedeutung: Energiequellen, die die chemischen Veränderungen in Gang brachten, die sich über Jahrmilliarden zu den ungeheuer komplexen Molekülstrukturen lebender Zellen entwickelten. Eine Hauptquelle bildeten die Sonnenstrahlen, vor allem die *ultravioletten Strahlen.* Wenn Sonnenlicht durch ein Prisma geht, wird es in seine farbigen Bestandteile zerlegt, und es entsteht das regenbogenähnliche Farbspektrum. Jede Farbe in diesem Spektrum entspricht einer bestimmten Wellenlänge. Am einen Ende des Spektrums befinden sich die

Die Urflut oder Sintflut. Nachdem die Erdkruste sich stark genug abgekühlt hatte, fiel der Regen ununterbrochen, und die Ozeane bildeten sich. Wasserfälle entstanden an den Berghängen und leiteten gewaltige Erosionsprozesse ein.

langen, roten Wellen, am anderen die kurzen violetten. Die ultraviolette Farbe, die sich jenseits der violetten Farbe befindet, nimmt das Auge nicht mehr wahr. Aber diese unsichtbaren, energiereichen ultravioletten Strahlen üben auf die organischen Moleküle, die ihnen ausgesetzt sind, eine starke chemische Wirkung aus. Sie werden zu heftiger Bewegung angeregt, so daß sie sich zu immer komplexeren Verbindungen zusammenschließen.

Heute erreicht nur noch ein geringer Teil dieser ultravioletten Strahlung unsere Erdoberfläche; der Rest wird von der Ozonschicht der Stratosphäre absorbiert. Aber in der Stratosphäre der Urerde gab es noch keine Ozonschicht, und die ultraviolette Strahlung konnte auf die Felsen und die neu entstandenen Gewässer ungehindert auftreffen und mit einer unvorstellbaren Kraft auf sie einwirken.

Eine weitere Energiequelle lag in den Wolken, die fast unablässig Elektrizität in Form von Blitzen entluden. Millionen von Jahren hindurch wurde von diesen Sturmwolken Energie auf die Erde und die Weltmeere „heruntergeblitzt". Millionen von Blitzschlägen entluden sich und ermöglichten chemische Umwandlungen, die für die Entstehung von Leben äußerst wichtig waren.

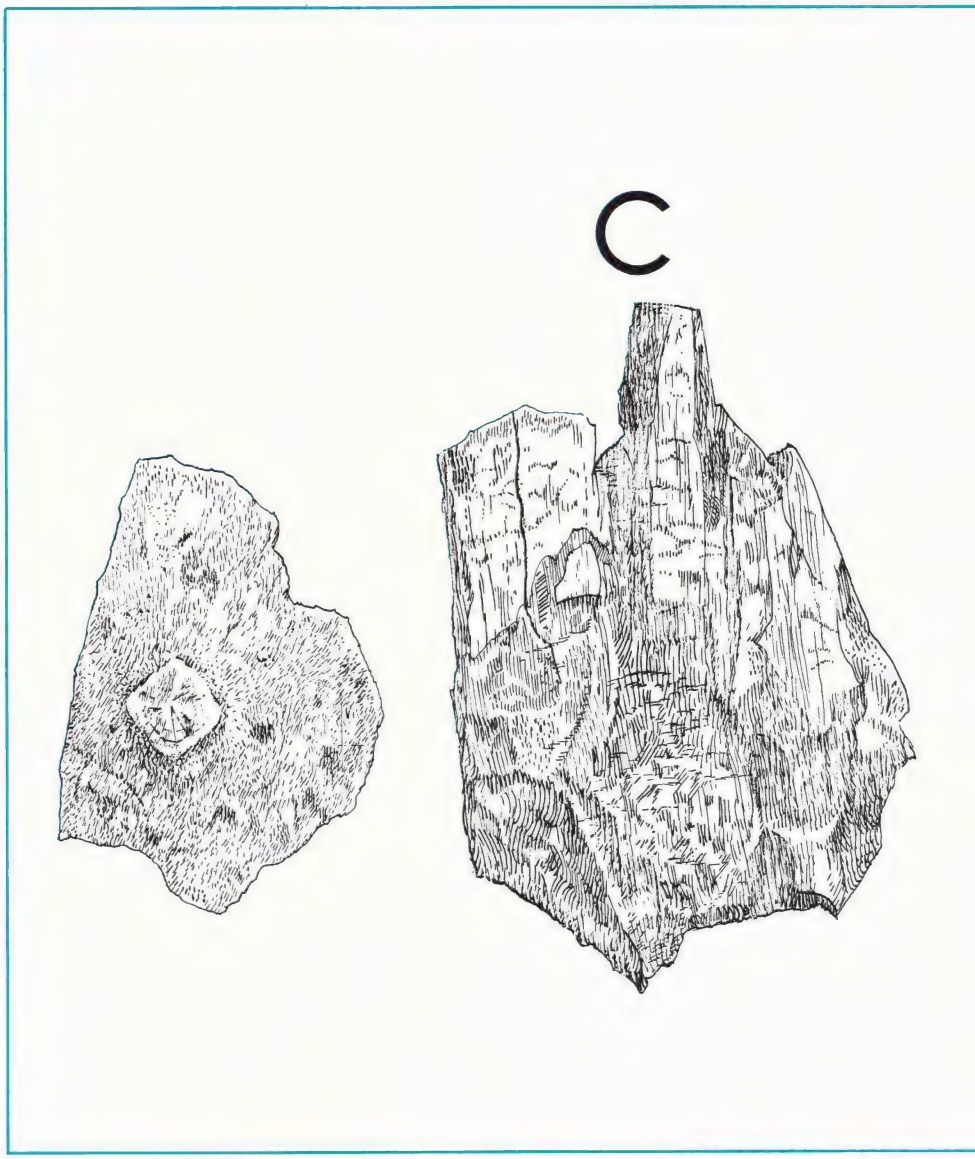
Eine dritte Energiequelle bildeten die Vulkane; sie produzierten eine gewaltige Energie in Form von Hitze. Eine vierte Quelle stellten die Strahlungen radioaktiver Elemente dar.

Ohne Energie kein Leben

Der *Anfang des Lebens* auf der Erde ist nicht genau zu datieren. Leben war nicht möglich, bevor die Erde sich in der zuvor beschriebenen Weise formiert hatte; es war bereits vorhanden in dem Augenblick, auf den wir die ältesten bisher entdeckten Fossilien datieren konnten: Irgendwann zwischen diesen beiden Zeitpunkten setzte das Leben auf der Erde ein und entfaltete sich zu immer komplexer werdenden Organismen. Die ganze Zeitspanne umfaßte mindestens 1,5 Milliarden Jahre.

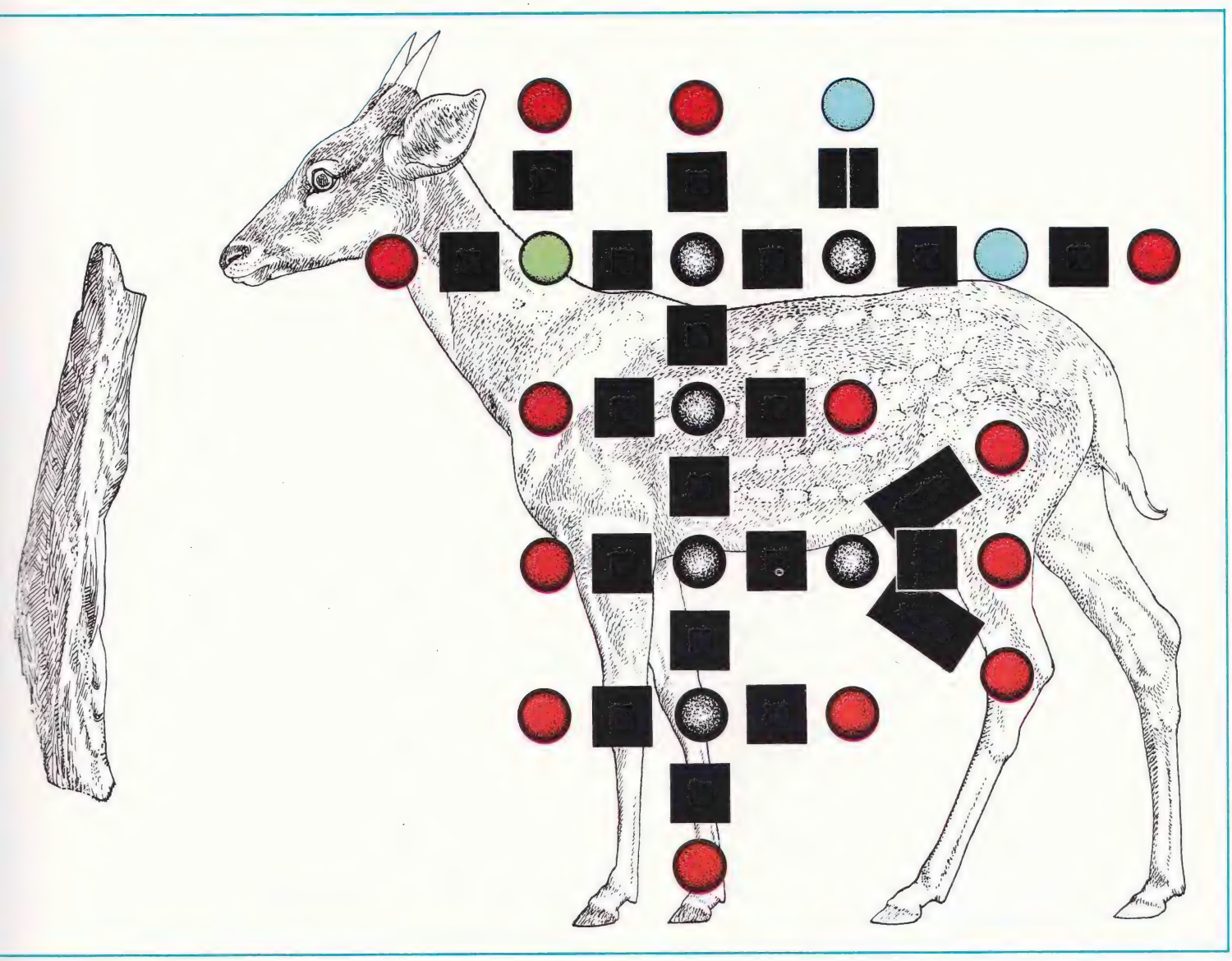
Vor mehr als 40 Jahren legten der britische Naturwissenschaftler John Scott Haldane und der russische Biochemiker A. I. Oparin die Grundsteine zu einer inzwischen fast überall anerkannten Theorie über die Entstehung des Lebens auf diesem Planeten. Oparin, der seine Ideen in bedenkenswerten Einzelheiten entwickelte, trug vor, daß die komplexen Moleküle, die die Bausteine der Lebewesen bilden, in einer Welt mit wenig freiem Sauerstoff hätten entstehen können. Im Jahre 1952 machte Stanley Miller, ein junger Chemiker und Schüler des Nobelpreisträgers Harold Urey, während er an seiner Dissertation arbeitete, eine erstaunliche Entdeckung. Es war ihm gelungen, im Labor die gleichen Bedingungen künstlich wiederherzustellen, unter denen die Gase der Uratmosphäre reagiert und den langen Weg, der zu den organischen Stoffen führte, in Gang gesetzt haben könnten. Auf einen Vorschlag von Urey hin behandelte Miller eine Mischung von Ammoniak, Methan, Wasserstoff und Wasserdampf, die in der Uratmosphäre wahrscheinlich alle reichlich vorhanden waren, mit einer energiereichen, elektrischen Entladung. Dabei wurde das Gasgemisch durch einen kugelförmigen Glasbehälter geleitet, in dem es immer wieder einem künstlichen Gewitter von 60 000 Volt starken Blitzen ausgesetzt wurde. Nachdem dieses Experiment eine Woche lang ununterbrochen gelaufen war, stellte sich bei einer Analyse der „Atmosphäre" in dem Glasbehälter

Ein neuer Zeitabschnitt begann, als sich die Wolken öffneten und das Sonnenlicht durch die Risse in ihrer dichten Decke auf die dunkle Erdoberfläche hindurchsickern konnte. Wo vorher nur undurchdringliche Finsternis oder ein düsteres Halbdunkel geherrscht hatte, gab es jetzt Licht und Wärme.



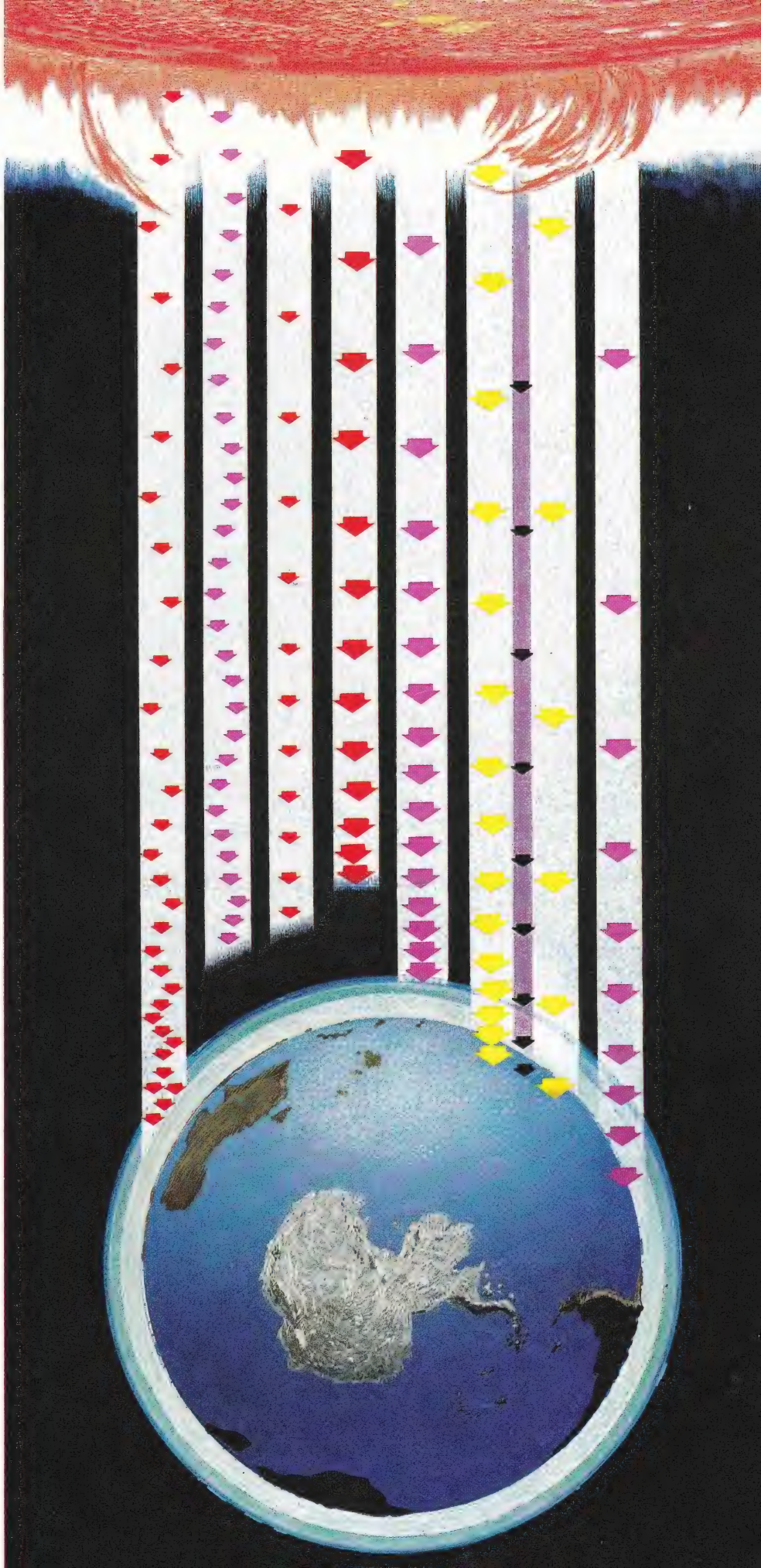
Vorkommen von Kohlenstoff in der Natur. Von links nach rechts: in Diamanten, in Kohle, in Graphit und in den Molekülen aller Lebewesen. Ganz rechts die Molekülstruktur von Leucin (durch Molekülsymbole veranschaulicht), einer der zwanzig Aminosäuren, die die meisten Proteine bilden. Die schwarzen Vierecke verbinden die Atome. – Schwarze Kreise = Kohlenstoff, rote Kreise = Wasserstoff, blaue Kreise = Sauerstoff, grüne Kreise = Stickstoff.

Isolierte Tierzelle unter dem Mikroskop. 99% des Gewichts ihres Plasmas bestehen aus Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff.



heraus, daß sich darin mehrere verschiedene *Aminosäuren* gebildet hatten. Aminosäuren aber sind die grundlegenden molekularen Bausteine, aus denen die Proteine oder Eiweißkörper gebildet sind – ein Hauptbestandteil in der Substanz aller Lebewesen vom Bakterium bis zum Menschen.

In einem Experiment aus dem Jahre 1962 wurden *Nukleotide,* eine andere Art von Baustein, der für jede lebende Zelle notwendig ist, unter ähnlichen Bedingungen erzeugt. Weitere Experimente ergaben, daß Aminosäuren und Nukleotide mit Hilfe verschiedener Energiequellen aus einer Vielfalt von Gasmischungen erzeugt werden konnten. Zu den dabei eingesetzten Energiequellen gehören auch die ultraviolette Strahlung, die radioaktive Bestrahlung mit Alphateilchen und gewöhnliche Wärme. Das Endergebnis all dieser Experimente bekräftigte die Theorie, daß es in jener sauerstoffarmen Atmosphäre viele unterschiedliche Möglichkeiten für die Entstehung der chemischen Bausteine des



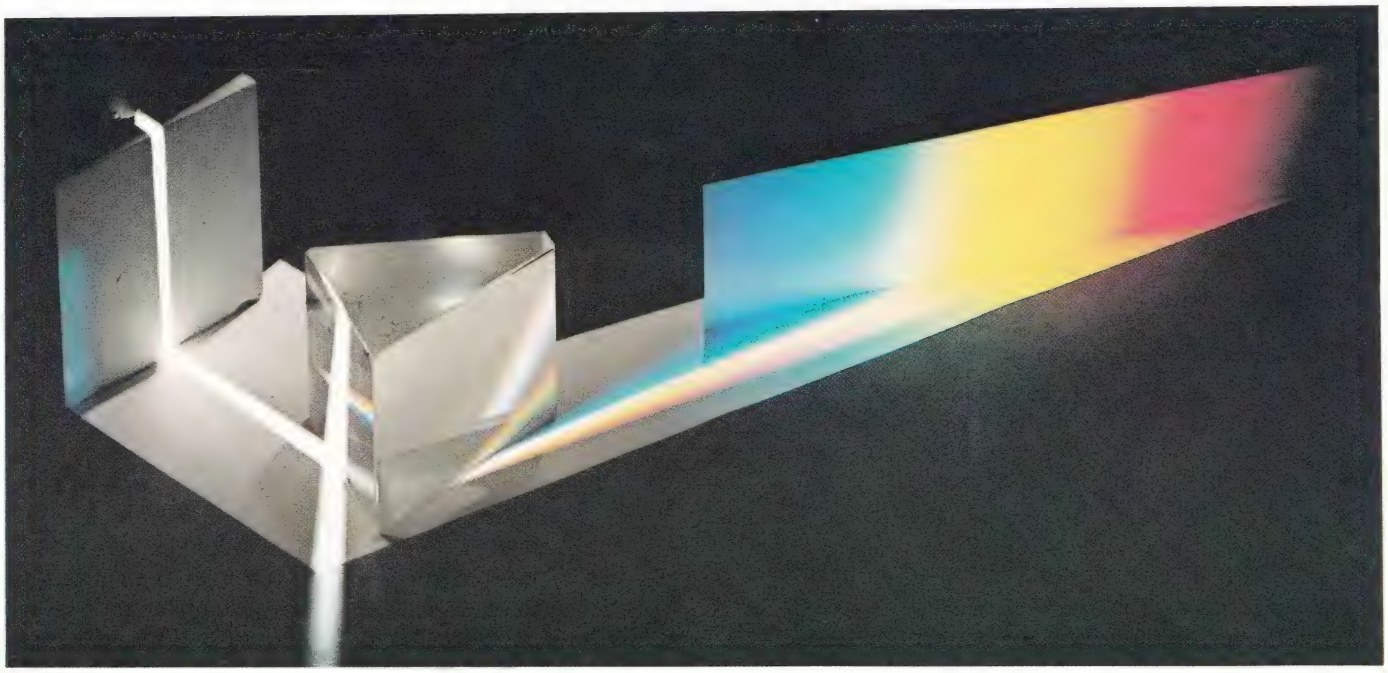
Die Sonne versorgt uns nicht nur mit Licht und Wärme, sondern auch mit einer Vielfalt anderer Strahlen von verschiedener Wellenlänge. Diese Strahlen sind in der Tabelle dargestellt, von den längeren Wellen rechts bis hin zu den kürzesten Wellen links. Oben im Bild ein Teil der flammenden Sonnenoberfläche, unten die Erdkugel. Das erste Strahlenband rechts stellt die Radiowellen dar, das zweite Band die Hitzewellen, das dritte die sichtbaren Lichtwellen und das vierte Band die ultravioletten Wellen, die für das Auge unsichtbar, aber von grundlegender Bedeutung sind. Außerdem erscheinen in der Darstellung Strahlungen von noch kürzerer Wellenlänge (bis hin zu den Gammastrahlen), von denen manche von der Atmosphäre absorbiert werden. Die ultravioletten Strahlen werden zum großen Teil in der Stratosphäre der Erde absorbiert. In weit zurückliegenden Zeiten erreichten diese Strahlen ungefiltert die Erdoberfläche und lieferten die Energie für die Prozesse, die dem Leben auf der Erde den Weg bereiten sollten.

Lebens gegeben hatte. Oparin meinte, daß gerade der Sauerstoffmangel der entscheidende Faktor gewesen sei. Ritchie Calder formulierte: „Wäre bei diesen Zwangsvereinigungen, zu denen Energie Pate stand, Sauerstoff anwesend gewesen, dann hätten sich keine organischen Moleküle gebildet; sie wären stattdessen einfach verbrannt."

Wir wollen diese Vorgänge, wie Biochemiker sie rekonstruiert haben, noch einmal zusammenfassen: In der Gasatmosphäre, die die Erde vor 4,5 Milliarden Jahren umhüllte, könnten sich Aminosäuren und Nukleotide mit Hilfe natürlicher Energiequellen gebildet haben. Die benötigten schöpferischen Kräfte waren vor allem die unzähligen, sich immer wiederholenden elektrischen Entladungen der Blitze aus den oben beschriebenen gewaltigen Gewittern. Hinzu kam die ultraviolette Strahlung der Sonne, die unvermindert und mit voller Kraft auf die Erde auftraf, da die Atmosphäre zu jener Zeit noch keine Ozonschicht besaß, die als Filter hätte dienen können. Durch die ungeheuren Regenströme, die darauf folgten, wurden die entscheidenden, lebenswichtigen Moleküle aus der Atmosphäre in die Ozeane heruntergewaschen, die sich auf der allmählich kühler werdenden Erde sammelten. Und hatten sich die Aminosäuren und Nukleotide erst einmal gebildet, dann brachen sie nicht so leicht wieder auseinander. So sammelten sie sich langsam in immer größeren Mengen in den Ozeanen, die sich allmählich mit Verbindungen von organischen Molekülen anreicherten. In dieser dicken *Molekülsuppe* wurden im Laufe der Zeit durch Zufallsverbindungen immer komplexere Moleküle erzeugt; es entstanden die ersten einfachen *Proteine* und *Nukleinsäuren* – die Hauptbestandteile lebender Zellen.

Hinweise aus dem interstellaren Raum

Vor mehreren Jahren analysierte ein Forscherteam einen in Australien niedergegangenen Meteoriten. Sie fanden 16 verschiedene Arten von Aminosäuren, von denen mindestens 5 in den Strukturen von



Beim Durchgang durch ein Glasprisma zerfällt das Sonnenlicht in ein regenbogenähnliches Farbmuster, das Spektrum. Diese Farben sind im sichtbaren Sonnenlicht enthalten. Es gibt aber jenseits des roten Lichts unsichtbare Strahlen, die Wärme erzeugen, die sog. infraroten Strahlen. Entsprechend folgen auf das violette Licht die unsichtbaren ultravioletten Strahlen, die von großer biochemischer Bedeutung sind.

irdischen Lebewesen häufig vorkommen. Der Bericht über diese Entdeckung zeigte abermals, daß es im vermeintlich leeren interstellaren Raum mehr Dinge gibt, als unsere Schulweisheit sich träumen läßt: Materie, die viel komplexer ist, als (außer in Science-fiction-Romanen) jemals vermutet wurde. Der Chemiker, der Biologe, der Geologe, der Physiker und der Astronom haben sich zusammengetan und halten weit über die Grenzen der Erde hinaus nach Hinweisen über die Evolution unseres Lebens Ausschau.

Dies wäre eigentlich das logische Ende unserer Geschichte von der Erde und dem Universum vor dem Anbruch des Lebens. Da aber dieses Buch in seinem ersten Teil den Ursprung und Aufbau der Erde sowie ihre Position im Universum zum Thema hat, wäre es unvollständig, versäumten wir es, jene physikalischen Veränderungen zu erwähnen, die zur Zeit der Verfestigung der Erdkruste stattfanden und die unseren Globus zu dem machten, als den wir ihn heute kennen.

Kontinentalverschiebung und geologische Veränderungen

Seitdem sich die Erdkruste gebildet hat, sind Milliarden von Jahren vergangen. Trotzdem kreisen im unvorstellbar heißen Erdinnern immer noch Konvektionsströmungen, die denen ähneln, die die Urmaterie aufgewühlt haben. Diese Konvektionsströmungen erzeugen überaus langsame Bewegungen im Erdmantel, Verschiebungen von etwa fünf Zentimetern pro Jahr. Über längere Zeiten hinweg bewirken diese Verschiebungen dennoch Veränderungen an der Basis der Kontinente und den Meeresböden.

Wissenschaftliche Untersuchungen der Meeresböden von 1960 bis 1970 haben die Hypothese bekräftigt, daß die Erdoberfläche aus sechs riesigen Platten besteht – sechs Basaltschollen, die die Granitblöcke der Kontinente stützen. Diese Platten bewegen sich ununterbrochen. Wo sie aufeinandertreffen, führt dies zu Gebirgsbildungen; wo sie sich auseinanderbewegen, wird die Erdkruste gespalten, und Material des Mantels quillt aus der Tiefe hervor. Diese Materie erstarrt dann und wird Teil der Erdkruste.

Vor rund 200 Millionen Jahren, so nimmt man an, bildeten alle Kontinente eine riesige, einheitliche Landmasse, welche die Erdwissenschaftler *Pangäa* nennen. Irgendwann brach dieser Einzelkontinent auseinander, und die treibenden, schwimmenden Kontinente, die wir heute kennen, entstanden. Aber dieser Zustand ist, geologisch gesehen, auch nur vorübergehend. Vielleicht werden eines Tages, in irgendeiner weit entfernten Zukunft, die Kontinentalblöcke wieder zusammenkommen.

Diese sogenannte *Kontinentalverschiebungstheorie* ist eigentlich nicht neu, aber in ihrer verfeinerten, modernen Form hat sie eine Revolution in den geologischen Wissenschaften hervorgerufen und ist immer noch das Thema ausführlicher, erhitzter Debatten. Vielen Entdekkungsreisenden im Zeitalter der Entdeckungen war aufgefallen, daß es eine Übereinstimmung zwischen der Ausbuchtung der Ostküste Südamerikas u. der nach innen geneigten Kurve der Westküste Afrikas gab. Der engl. Philosoph Francis Bacon war schon 1620 der Meinung, eine solche Ähnlichkeit könne nicht Zufall sein. Etwas später wurde gelegentlich auch die Ansicht vertreten, die Alte und die Neue Welt seien durch die Sintflut auseinandergetrieben worden. Erst 1858 wurde die Ähnlichkeit zwischen den beiden Kontinenten, die einander auf beiden Seiten

des Atlantischen Ozeans gegenüberstehen, wissenschaftlich, d. h. geologisch, gedeutet. Antonio Snider-Pellegrini versuchte, die Entdekkung identischer Pflanzenfossilien in europäischen und nordamerikanischen Kohleflözen zu erklären. In diesem Zusammenhang beschrieb er, wie einst die Kontinente ineinander paßten, und veranschaulichte in einem ersten Diagramm, wie die Kontinente vor und nach ihrer Trennung ausgesehen haben könnten.

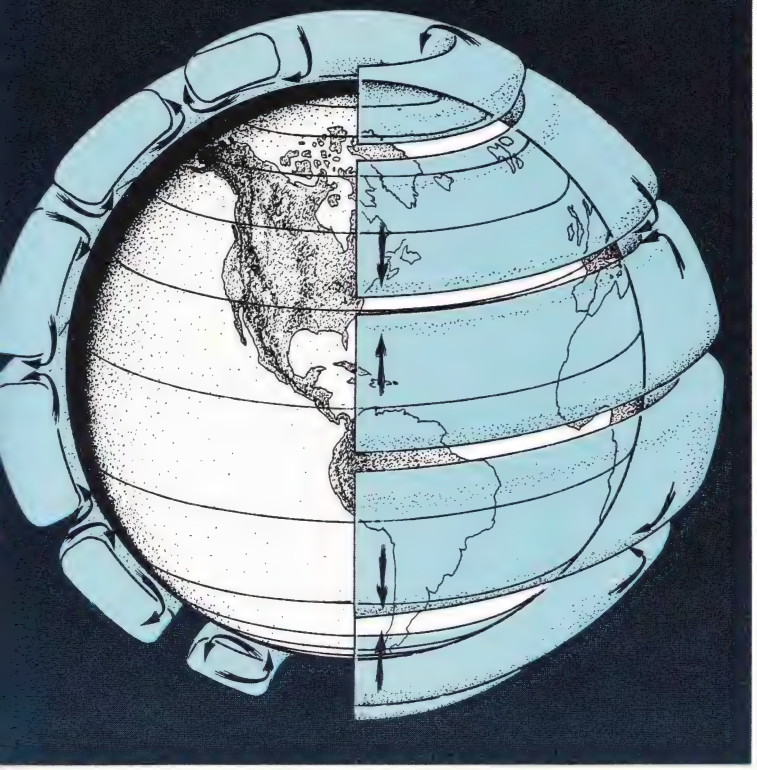
Am Anfang dieses Jahrhunderts stellten zwei Amerikaner, Frank B. Taylor und Howard B. Baker, detaillierte Argumente für eine Bewegung der Kontinente vor. Der heute allgemein anerkannte Pionier der Kontinentalverschiebungstheorie ist jedoch der deutsche Geophysiker und Meteorologe Alfred Wegener. Er wandte seine Theorie auf vorgeschichtliche Klimaformen an und konnte z. B. erklären, warum tropische Farne einst in London, Paris oder sogar in Grönland wuchsen, während Brasilien und Teile Afrikas von Gletschern bedeckt waren. Wegener war ein Mann von sehr vielseitiger Gelehrsamkeit. Er brachte in seinem Buch

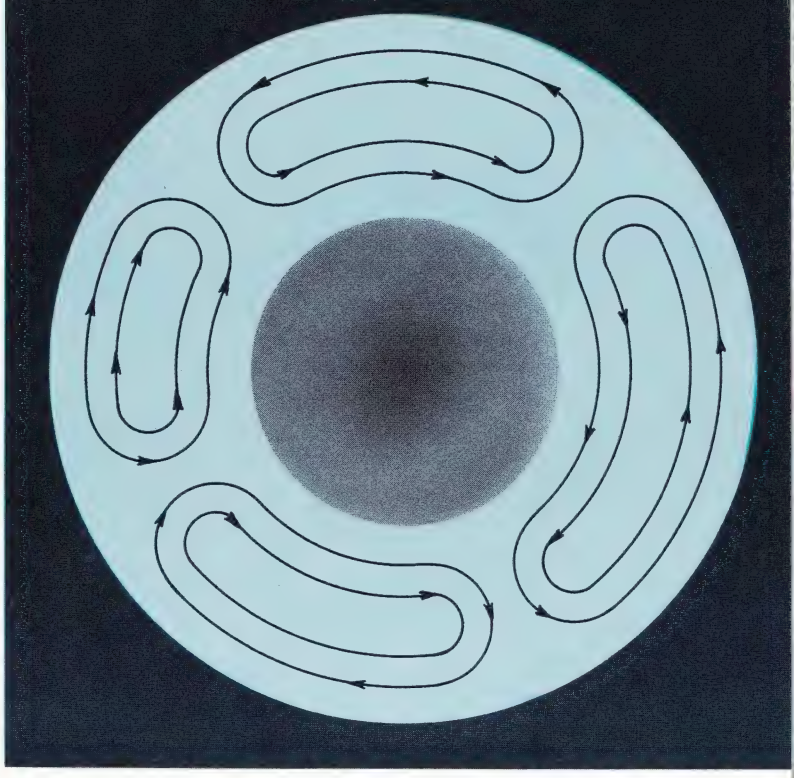
Blitzstrahlen, die während eines Sturms auf dem Berg San Salvatore in der Nähe des Luganer Sees einschlagen. Auf der Urerde lieferten ähnliche elektrische Entladungen die Energie für eine Umwandlung von toter in lebende Materie.

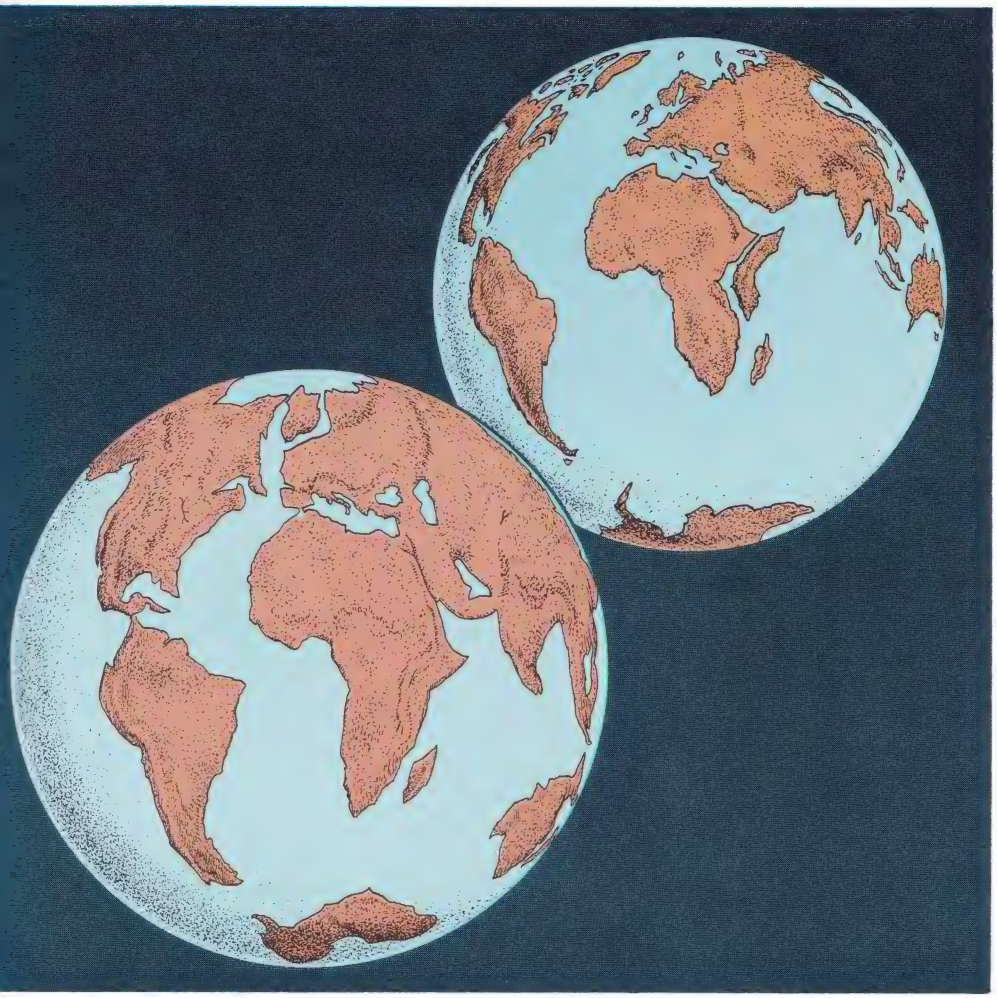
„Die Entstehung der Kontinente und der Ozeane", das 1915 veröffentlicht wurde, Beweise für eine Kontinentalverschiebung vor, die aus dem vollen Spektrum relevanter wissenschaftlicher Forschung zusammengetragen worden waren. Wegeners Theorie rief heftigen Widerspruch hervor, besonders in den zwanziger Jahren; und manche Wissenschaftler weisen sie auch heute noch zurück. Der Haupteinwand war, es gebe keine bekannte physikalische Kraft, die imstande wäre, ganze Kontinente und Meeresböden voneinander zu trennen und auseinander zu treiben.

Aber schon in den vierziger Jahren hatte eine Reihe von Wissenschaftlern in Amerika, Europa und Südafrika mögliche geophysikalische Erklärungen für eine Kontinentalverschiebung zusammengestellt. Die zugrundeliegende bewegende Kraft wurde benannt: Es ist die Kraft der *Konvektionsströmungen,* die tief im Erdinnern durch radioaktive Energie erzeugt werden. Während in gewissen Zonen des Erdinnern die Temperatur zunimmt, steigt das heiße Material in diesen Bereichen langsam auf die Erdoberfläche zu und breitet sich aus. Dabei kühlt es sich allmählich ab. Bei dieser Abkühlung und der damit einhergehenden Verdichtung sinkt das Gestein dann wieder zurück. Diese Bewegungen

Wegen der Bewegungen in der Erdkruste brach der zusammenhängende Urkontinent Pangäa auseinander, und es bildeten sich unsere heutigen Kontinente. In den vier abgebildeten Halbkugeln wird die Entwicklung dieses Phänomens, das vor rund 200 Millionen Jahren seinen Anfang nahm, sichtbar gemacht.





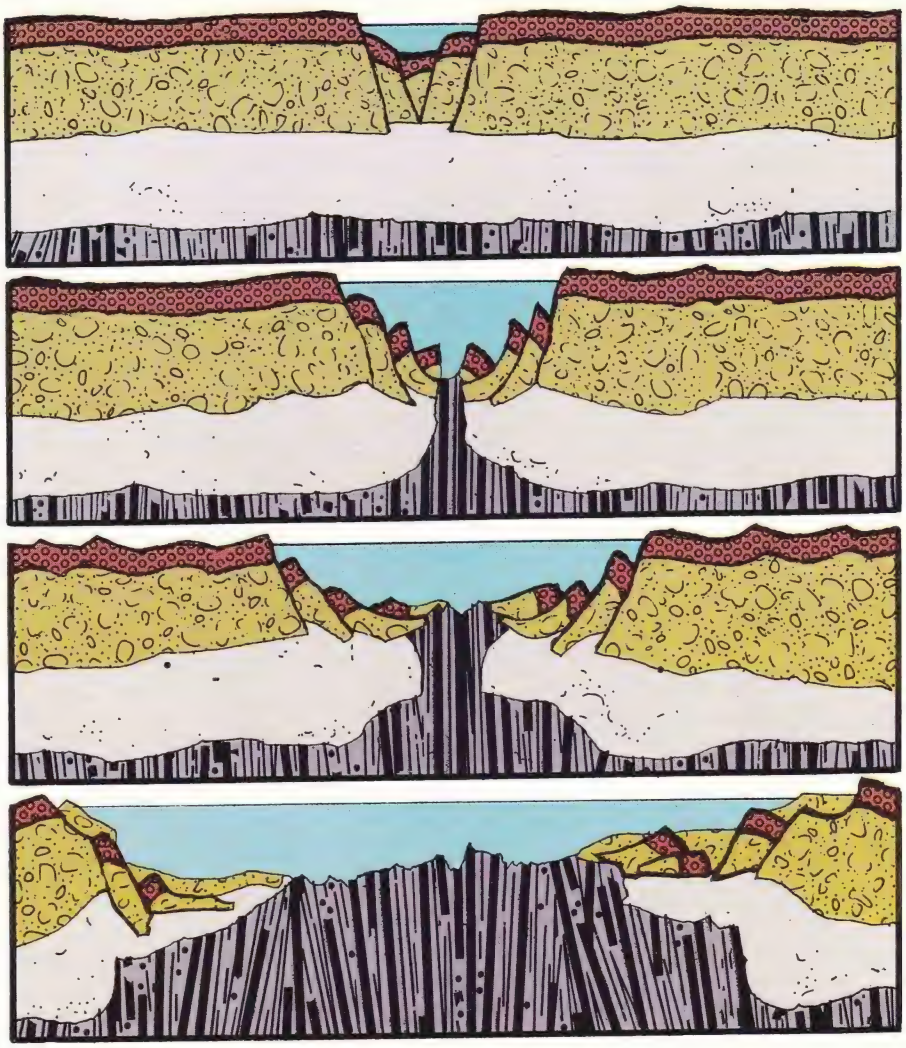


Oben: Temperaturunterschiede, z. B. im Wasser, erzeugen Konvektionsströmungen, die dann isolierte Bewegungseinheiten („Zellen") bilden, die durch Kreisbewegungen begrenzt sind. Zellen dieser Art befinden sich auch in der Erdatmosphäre (Abb. links oben) und erzeugen eine Konvektionsströmung in der Luft. Entsprechende „Zellen" bewirken, daß sich die Materialien des Erdmantels (Abb. rechts) – äußerst langsam – bewegen. Diese Bewegung verursacht eine Verschiebung der Meeresböden und der Kontinente.

könnten, so meinte man, schließlich eine Verschiebung ganzer Kontinente verursachen, die sich über die Oberfläche des Planeten wie majestätische Eisberge bewegen würden. Mittlerweile ist diese Beschreibung der Kontinentalverschiebung und der Konvektionsströmungen erheblich überarbeitet worden. Die gegenwärtige Theorie unterscheidet sich von der ursprünglichen in vielen wesentlichen Details. Aber das Zentralkonzept von einer grundlegenden, treibenden Kraft gilt nach wie vor. Inzwischen haben Untersuchungen in viele andere Richtungen zusätzliche Beweise erbracht, die eine weite Anerkennung der Theorie bewirkt haben.

Danach scheint es früher wirklich einen Superkontinent gegeben zu haben. Pangäa war noch vor 225 Millionen Jahren, d. h. zu Beginn des Dinosaurierzeitalters, eine einheitliche Landmasse. Daten über die Evolution und die Verteilung von Pflanzen und Tieren weisen darauf hin, daß diese Landmasse ungefähr vor 200 Millionen Jahren auseinanderbrach. Aus Pangäa entstanden drei Kontinente: *Laurasia,* das aus Nordamerika, Europa und Asien bestand; *Gondwanaland,* das weite Teile Südamerikas, Afrika, Vorderindien und Westaustralien umfaßte; und eine dritte Masse, die sich im Laufe der Zeit in die *Antarktis* und *Australien* teilte. Dieser Zustand dauerte bis vor ungefähr 65 Millionen Jahren an, als in einer Serie von Brüchen und Bewegungen die Kontinente auseinandertrieben und ihre heutige Form annahmen.

Dies alles ist Stoff für Kapitel aus der Anfangsgeschichte des Lebens auf der Erde – einer faszinierenden Geschichte, die wir in den anschließenden Bänden dieser Serie weiter verfolgen können.

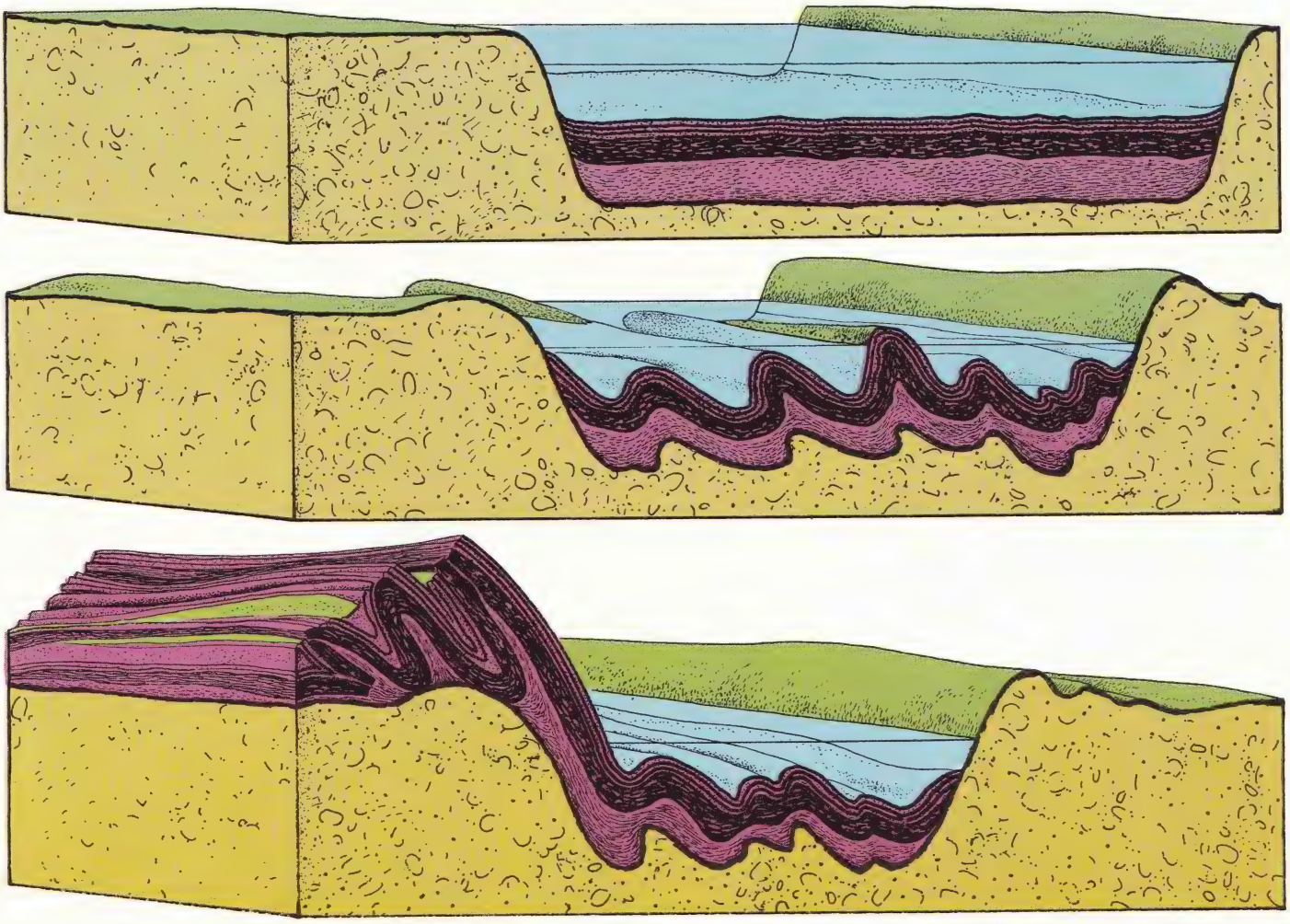


Schematische Darstellung der Bildung eines Ozeans, wenn zwei Kontinente sich voneinander trennen und auseinandergetrieben werden. Oben die Anfangsphase: Ein breiter Riß entsteht in der Kontinentalmasse; in die sich ergebende Bresche strömt Meerwasser ein. Unten die darauffolgenden Phasen: Die Bresche dehnt sich aus und vertieft sich; aus der Tiefe quillt das Gestein des Erdmantels hervor; dieses zähe Gestein erstarrt nach kurzer Zeit und bildet eine neue Bodenformation für die breiter werdende Bresche und folglich auch für den dazwischen neu entstandenen Ozean. Mit der Zeit werden so aus einem Kontinent zwei Kontinente, die durch einen mittlerweile riesigen Ozean voneinander getrennt sind (Abb. ganz unten).

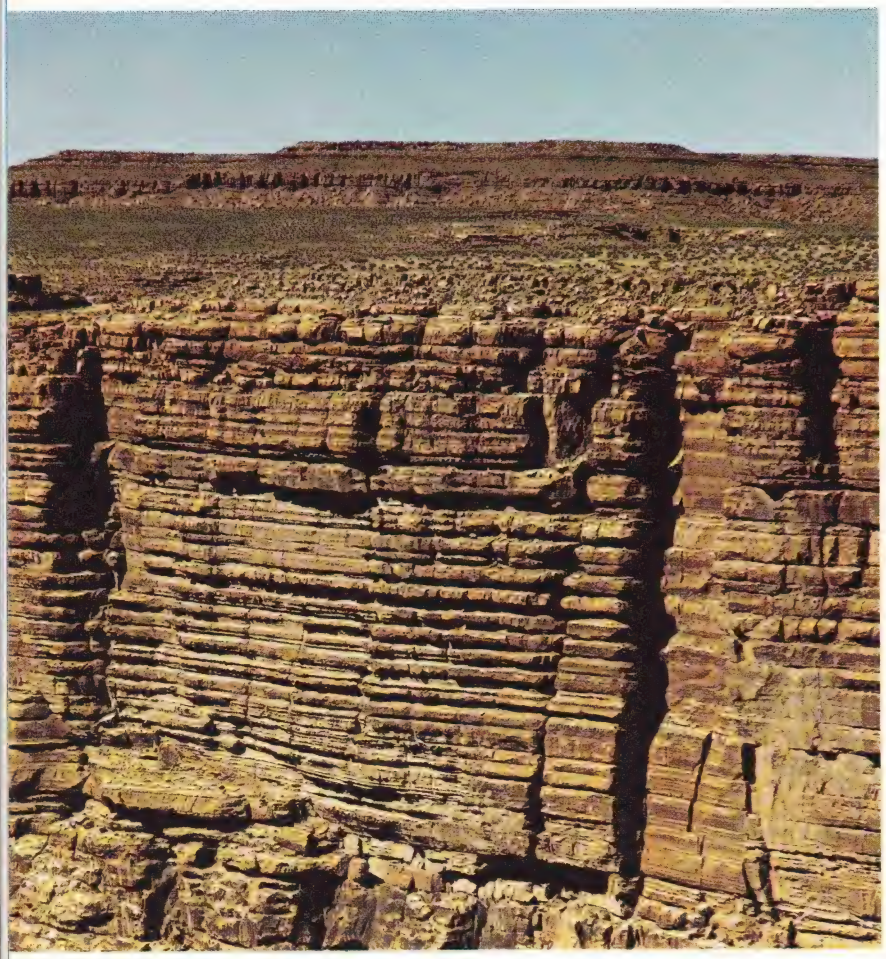
Wir wissen sehr wenig über die Zeit vor der Entstehung von Pangäa. Die Wissenschaft konnte bis jetzt lediglich eine begrenzte Teilrekonstruktion jener Zeit erstellen. Wir wissen also nicht, wie die Erde zu Beginn des Lebens wirklich aussah, als die Ozeane immer höher stiegen und die Vertiefungen füllten, die bis dahin trocken und dürr gewesen waren. Die Kontinente waren allenfalls vage Äquivalente unserer heutigen. Wir wissen jedoch, daß auf Grund von Bewegungen in der Erdkruste sowie der Kräfte der Verwitterung und Erosion diese Kontinente fortwährend bedeutende Veränderungen durchmachten. Bergketten bildeten sich und wurden zugleich durch Wasser, Wind und viele andere Kräfte, die Veränderungen bewirkten, und von Erosion angegriffen. Gewaltige Gebirge wurden abgetragen und vergingen. Felsen wurden aufgebrochen und vom Wasser in die Täler gerissen, wo sie allmählich zu Steinen, Kieseln und schließlich zu Sand wurden. Flüsse schwemmten dieses Material ins Meer, bis von den Bergen nichts übrigblieb als erodiertes Hochland. Ein großer Teil dieses Materials lagerte sich in Gewässern ab, die weniger tief als andere waren. Diese wiederum wurden in die Bewegungen der Erdkruste einbezogen und über die Oberfläche des Meers emporgehoben. Aus Urbergen, die zu Staub geworden waren, entstanden neue Berge. Inzwischen waren diese Urablagerungen wieder zu hartem Felsgestein geworden, das sich zu Gebirgen auftürmte – bis in Höhen, in denen sich auf ihren Gipfeln Schneekappen bildeten.

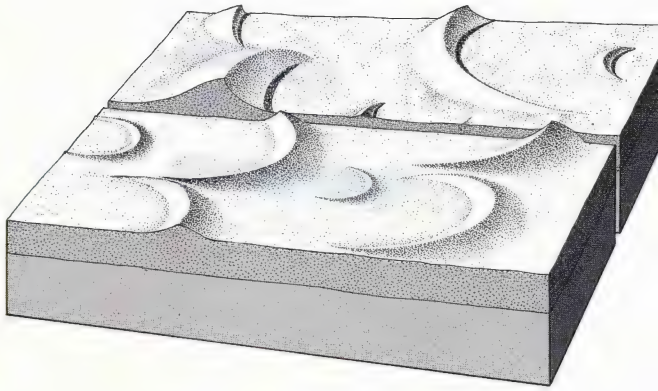
Dank dieser unaufhörlichen Veränderungen können wir heute die Ablagerungen untersuchen, die sich in weit zurückliegenden Zeiten in

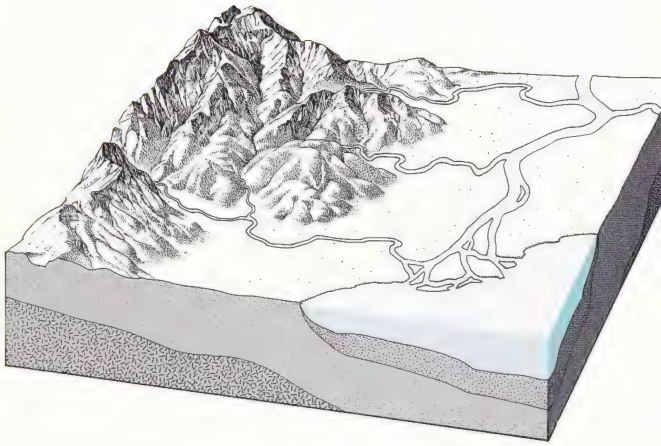
Bergketten entstanden durch seitlichen Druck von den Kontinentalblöcken der Erdkruste auf Gesteinsschichten, die in den Meeren abgelagert waren. Die schematische Darstellung zeigt, wie diese Gesteinsschichten Falten bilden und schließlich durch den Druck nach oben gedrängt werden, bis sie über den Meeresspiegel emporragen. Dieser Prozeß dauert mehrere Millionen Jahre. Wenn sich die Gebirgsketten gebildet haben, wird das uralte Gestein durch die Kraft der Erosion zerstört und abgetragen, um danach wieder an den tieferen oder flacheren Stellen des Meers abgelagert zu werden. Auf diese Weise werden auf der Erde die Gebirge ständig neu gebildet und wieder abgetragen.



Durch Druckkräfte in der Erdkruste bildeten sich Gebirge von gewaltiger Größe. Die Aufnahme zeigt den Mount Everest und einige benachbarte schneebedeckte „Riesen".

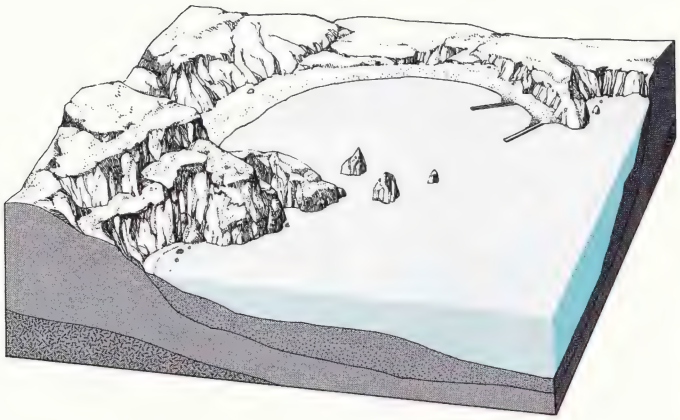


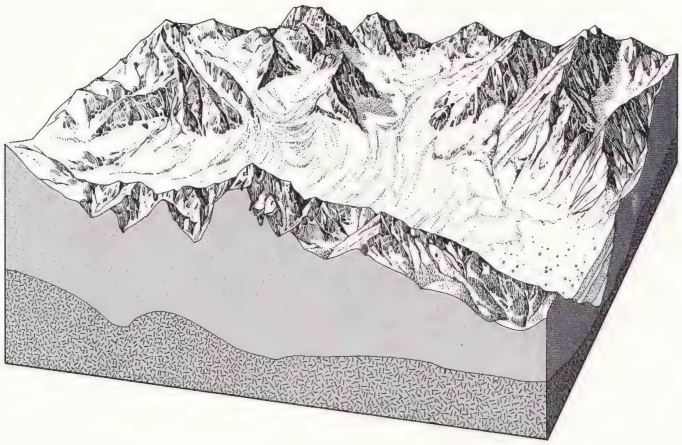




Links oben: In den Ablagerungen und Gesteinsschichten, die die Geschichte der Erde „enthalten", befinden sich Fossilien, das sind Überreste von Urorganismen, die uns Hinweise auf Ereignisse in früheren Erdzeitaltern geben. Die Aufnahme zeigt eine große Lage von Schichtungen im Little Canyon, Colorado.

Rechts unten: Beispiele für Erosion: Felsen werden durch Wind, Sand und Staub glatt gehobelt. Dazu kommt die erodierende Wirkung von Flüssen und reißenden Strömen, die sich in ihrem Verlauf in Gesteinstrümmer einfressen und die Trümmer anderer Erosionen zu Tal befördern.



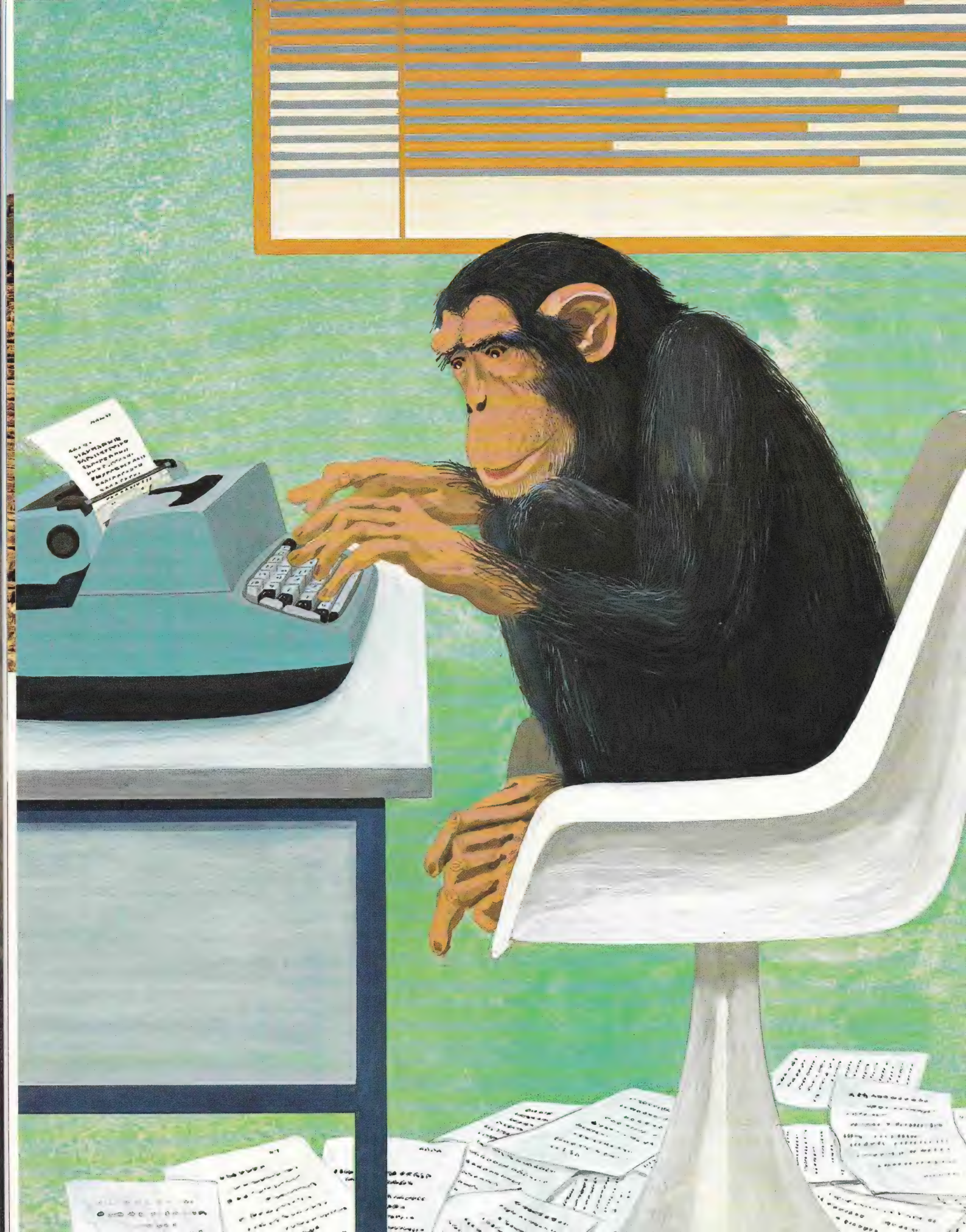


den Meeren „gesetzt" haben. Die Ablagerungen liegen in Schichten übereinander, die *Strata* genannt werden, und beherbergen sehr oft die versteinerten Überreste von Lebewesen, die sich in jenen Urmeeren entwickelt haben, als das Leben seinen Anfang nahm. Die Gesteinsschichten, die manchmal auf Hügeln und Berghängen gefunden werden, ähneln einem großen Buch. Jede von ihnen stellt eine Seite dar, die der Mensch lesen kann. Mit ihrer Hilfe können wir Lebewesen aufspüren, die schon längst von der Erde verschwunden sind; wir können ihre Gestalt rekonstruieren und uns ihre Umgebung vorstellen.

Es gibt immer noch viele enttäuschende Forschungslücken. Dennoch überschauen die Wissenschaftler jetzt die Schichten und können angeben, in welcher Weise Gruppen von Fossilien aus Fauna und Flora aufeinanderfolgen. Auf diese Weise wird jedes Zeitalter im wesentlichen durch die Fossilien dargestellt, die für diese Periode charakteristisch sind. Auf geologische Prinzipien gegründet, ergeben sich aus den gefundenen Fossilien klare Hinweise über Entwicklungsstadien ganzer Tiergruppen und -arten. Sie beweisen, daß es auf der Erde Organismen gegeben hat, die kein Mensch jemals lebend gesehen hat oder sehen wird.

Oben Mitte: Das wechselnde Gesicht der Erde. Die vier Skizzen zeigen verschiedene Arten von Erosionen, die sich in die Felsen hineinfressen, sie auseinanderbrechen und die Trümmer zu Tal befördern. Bergketten verfallen und werden abgetragen und bilden dadurch die „Baumaterialien" für zukünftige Bergketten.

Rechts oben: Erosion durch Meereswellen (oberes Bild): Die Felsen der Küste bröckeln ab. – Erosion durch Schnee in hohen Bergtälern (unteres Bild): Schlamm und Schutt werden in die tieferliegenden Täler hinabgerissen.



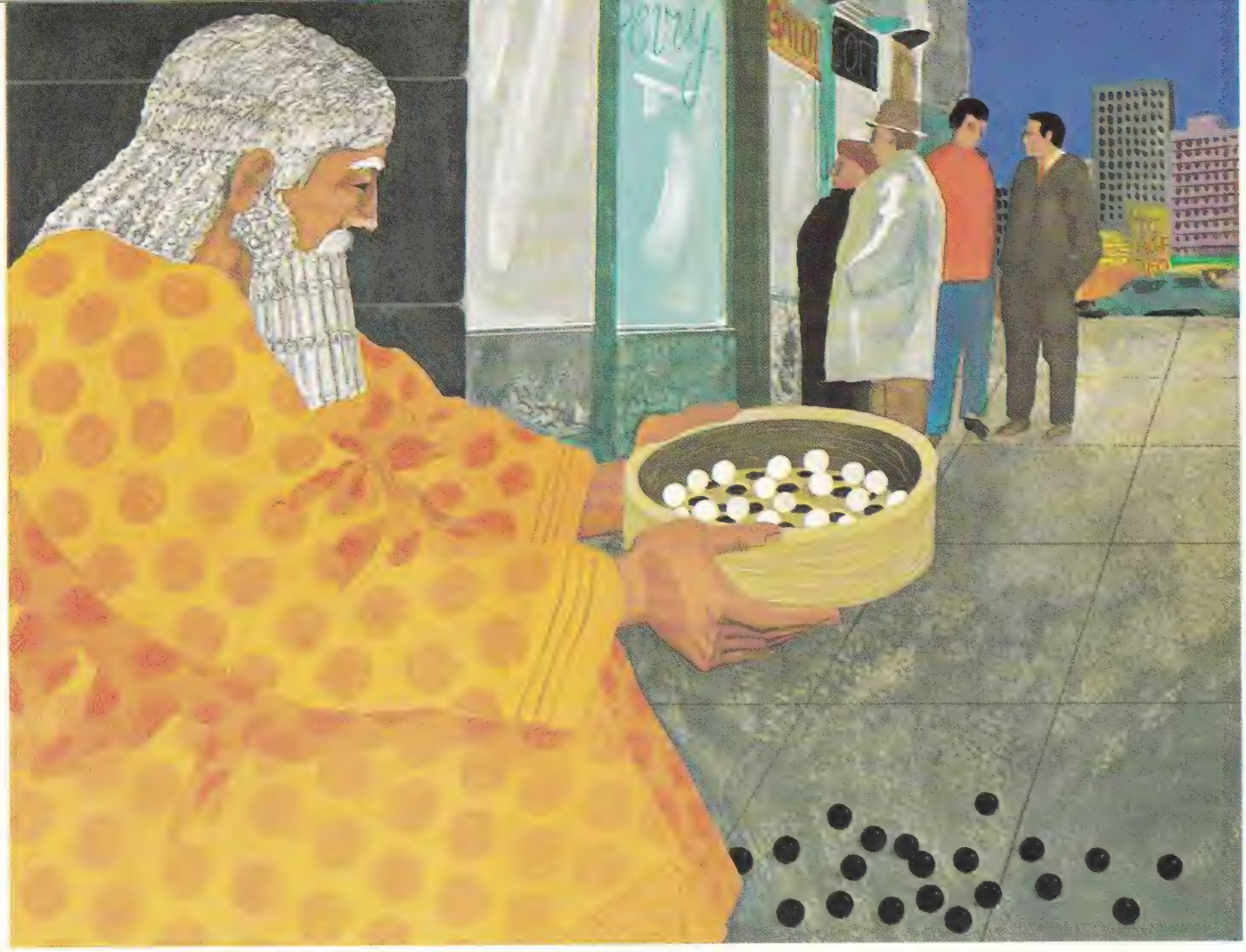
Das Gesetz von Zeit und Zufall

Herodot, der maschineschreibende Schimpanse und ein langweiliges Lottospiel

Als Leitmotiv der folgenden Kapitel könnten wir den berühmten Satz zitieren, der 1865 von dem großen Wissenschaftler R. Virchow geschrieben wurde: „Wenn es einen Ursprung des Lebens gegeben hat, müßte die Wissenschaft rational bestimmen können, wie dieser aussah." Bei der Suche nach einem sehr modernen Motto könnten wir uns auch auf einen Satz des griechischen Geschichtsschreibers Herodot beziehen: „Alles kann geschehen, vorausgesetzt, es ist genügend Zeit dafür da." Sehr modern sagen wir deshalb, weil man sich mit dieser Äußerung erst in der Neuzeit unter verschiedenen Gesichtspunkten näher befaßte, die von der Formulierung geistreicher Bemerkungen bis zur Aufstellung mathematischer Berechnungen reichen. Eine solche geistreiche Bemerkung lautet zum Beispiel: „Eine unendliche Zeit ist diejenige Zeit, die ein Schimpanse, der auf die Tasten einer Schreibmaschine haute, benötigen würde, um zufällig den Satz des Pythagoras zu formulieren und zu beweisen." Dieser Vergleich trifft jedoch den Nagel nicht auf den Kopf. Natürlich würde es lange dauern, viel länger, als die Lebenserwartung eines Schimpansen beträgt; diese Zeit braucht jedoch keineswegs unendlich zu sein.

Doch können wir auch eine präzisere mathematische Berechnung anführen. Nehmen wir einmal an, wir hätten eine Schachtel, die eine bestimmte Anzahl weißer Billardkugeln und eine gleiche Anzahl schwarzer Billardkugeln enthält. Im Boden der Schachtel sind Löcher, durch die die Billardkugeln jeweils einzeln hindurchfallen können; es gibt jedoch nur halb so viel Löcher wie Billardkugeln insgesamt. Wenn wir nun die Schachtel schütteln, dürfte natürlich die Hälfte der Billardkugeln unten herausfallen, und die herausgefallenen dürften schwarz und weiß gemischt sein. Es könnte jedoch auch passieren – wenn das auch äußerst unwahrscheinlich ist –, daß entweder alle weißen Kugeln oder alle schwarzen Kugeln gleichzeitig herausfielen. Wie lange würde es dauern, bis ein derart unwahrscheinliches Ereignis eintreten würde? Man kann das mathematisch berechnen: Wenn das Spiel in jeder Sekunde einmal mit zwanzig Billardkugeln gespielt würde (mit zehn weißen und zehn schwarzen), würde das besagte Ereignis nach 2 Tagen

Ein Schimpanse tippt zufällig auf die Tasten einer Schreibmaschine. Wird er irgendwann eine Seite von Goethes „Faust" oder eine Seite der Bibel zustandebringen? Nach dem Gesetz von Zeit und Zufall wird das in unabsehbar langer Zeit eintreffen. Gemäß den Erkenntnissen der modernen Genetik sind auch die Lebewesen „nach dem Zufall geschrieben". Der Zufall ist es, der die Mutationen verursacht; die Selektion fixiert sie und gibt sie an die Nachkommen weiter.



Ein Mann legt einige Billardkugeln – von denen die Hälfte weiß, die andere Hälfte schwarz ist – in eine Schachtel, deren Boden durchlöchert ist; es sind halb so viel Löcher wie Billardkugeln vorhanden. Jedesmal, wenn die Schachtel geschüttelt wird, fallen nach dem Zufall Billardkugeln unten heraus. Es sind insgesamt 40 Billardkugeln, und der Mann versucht zu erreichen, daß alle weißen Kugeln bei einem einzigen Schütteln herausfallen. Dieses Spiel spielt er Tag und Nacht – einmal Schütteln pro Sekunde –, dreitausend Jahre lang. Er hat sein Ziel immer noch nicht erreicht.

eintreten. Wenn man den Versuch jede Sekunde einmal mit vierzig Billardkugeln durchführen würde, würde es bereits 3 000 Jahre dauern. Und mit 200 Billardkugeln würde es 10^{52} Jahre (d. i. eine 1 mit 52 Nullen = 10 000 Oktillionen) dauern. Nur zum Vergleich: Unsere Erde ist nach der herrschenden Meinung rund 4,5 Milliarden Jahre alt.

Manche Leute halten die Möglichkeit, daß sich eine komplizierte Lebensform wie der Mensch aus unbelebter Materie entwickelt hat, noch für sehr viel unwahrscheinlicher als die Trennung von hundert weißen und hundert schwarzen Billardkugeln lediglich dadurch, daß eine Schachtel mit Lochboden einmal kurz geschüttelt wird. Daher meinen diese Leute, daß die Theorie von „Zeit und Zufall" nicht ausreicht, um zu erklären, woher der Mensch kommt, weil die Zeitspanne zu kurz ist. Es gibt tatsächlich manche Wissenschaftler, die dieselbe Schlußfolgerung ziehen und behaupten, daß das Leben auf unserer Erde zuerst von viel älteren Welten gekommen sei, auf denen Zeit genug für das Entstehen von Leben gegeben war.

Im Hausgarten von Frau Harris

Vermutlich glaubt das auch Frau Marie Harris aus Dallas in Texas. Sie sah, wie ein pulsierender, gallertartiger Klumpen vom Himmel in ihren Hausgarten viel, und dieser Klumpen nahm in ein paar Wochen um etwa das 20fache an Größe zu.

Niemand kann mit Gewißheit die Hypothese widerlegen oder bestätigen, daß das Leben von anderen Welten auf die Erde gekommen sei, und zwar in Form von Sporen oder „schlummernden Lebenskeimen", die in der Lage waren, den lebensfeindlichen Einflüssen im Weltraum zu widerstehen und immer dort „wieder zum Leben zu erwachen", wo dies nach den Umweltbedingungen möglich war. In diesem Buch wollen wir jedoch nur diejenige Hypothese untersuchen, die besagt, daß das Leben auf der Erde entstanden ist.

Im Fall des gallertartigen Klumpens, der in Dallas niederfiel, ist es sinnvoller, wenn man annimmt, daß ein Gebilde aus Sporen durch den Wind von irgendeinem Teil unseres Planeten hochgehoben und im Hausgarten von Frau Harris wieder abgesetzt wurde. Wenn man andererseits aber wirklich die Theorie aufstellt, daß er aus einer anderen Welt kam, ist es sinnvoller, anzunehmen, daß er für sich allein durch den Weltraum segelte, anstatt zu unterstellen, daß er von kleinen, grünen Männchen mit Antennen am Kopf hergebracht und aus ihrem Raumschiff herausgeworfen worden sei.

Frau Marie Harris aus Dallas in Texas sah, wie ein gallertartiger Klumpen vom Himmel in ihren Garten fiel. In wenigen Wochen war der Klumpen um das Zwanzigfache angewachsen. Sollen wir annehmen, daß das Leben auf dieselbe Art und Weise aus dem Weltraum auf unsere Erde gelangt ist? Es ist möglich, daß es so war. Irgendwo, hier oder dort, entwickelte sich das Leben aus unbelebter Materie. Uns geht es weniger um das „Wo?", sondern mehr um das „Wie?".

Drei Antworten auf einen Einwand

Kehren wir zu dem Einwand zurück, daß die Entstehung von Leben ein unwahrscheinlicheres Ereignis ist als die Trennung von 100 weißen und 100 schwarzen Billardkugeln durch einfaches Schütteln einer Schachtel und daß die Entstehung von Leben eine viel längere Zeit gedauert haben muß, als unser Planet überhaupt vorhanden ist. Auf diesen Einwand gibt es drei Antworten:

Die erste Antwort lautet, daß uns die Entstehung von Leben aus unbelebter Materie vielleicht deshalb unwahrscheinlich vorkommt, weil wir bisher diesen Prozeß nicht vollständig verstehen können. Wenn wir ihn wirklich begriffen haben – das heißt, wenn eine umfangreiche Reihe von rationalen und ökonomischen Hypothesen bestätigt worden ist –, wird uns die Entstehung des Lebens kein bißchen weniger unwahrscheinlich vorkommen als eine schlagartige Trennung der weißen Billardkugeln von den schwarzen.

Die zweite Antwort lautet, daß es nicht nur eine einzige „Stelle" auf unserem Planeten gegeben hat, wo das Leben seinen Ausgang genommen haben kann, sondern eine unermeßliche Vielzahl solcher „Stellen", an denen dieselben Bedingungen vorherrschten. Daher sieht die Sache nicht so aus, als hätten wir bloß eine Schachtel mit Billardkugeln, sondern Milliarden und Abermilliarden solcher Schachteln. Zwar dauert es mit einer einzigen Schachtel viele Milliarden Jahre, bis die Kugeln einmal schlagartig voneinander getrennt werden, doch verkürzt sich diese Zeit, wenn wir uns den Vorgang mit Milliarden von Schachteln vorstellen.

Sehen wir einmal den Kartenspielern zu – ein Beispiel, das uns näherliegt. In einem Skatspiel mit den üblichen 32 Karten ist es höchst unwahrscheinlich, daß man zum Beispiel mit den ersten vier ausgeteilten Karten vier Karten einer Sorte, zum Beispiel vier Asse, erhält. Doch kann dieses unwahrscheinliche Ereignis an einem Spielabend gleichwohl mehrfach vorkommen. Nehmen wir einmal an, daß wir uns selber Karten austeilen. Wie hoch ist dann die Wahrscheinlichkeit, daß die ersten vier ausgeteilten Karten vier Asse sind? Da wir mit 32 Karten spielen, beträgt die Wahrscheinlichkeit, daß die erste Karte ein As ist, 1/32 (eine von 32). Die Wahrscheinlichkeit, daß die zweite Karte ebenfalls ein As sein wird, beträgt 1/31; daher beträgt die Wahrscheinlichkeit, daß

Oben: Selten werden beim Pokern mit den ersten vier Karten vier Asse ausgeteilt ...

... wenn jedoch hinter allen erleuchteten Fenstern in einer Großstadt einige Männer die ganze Nacht Karten spielen, ist es sehr wahrscheinlich, daß irgendein Spieler noch vor dem Morgengrauen dieses Glück haben wird. Was bei einem einzigen Spieler auch während einer langen Zeit nicht einzutreten braucht, kann bei einer großen Zahl von Spielern schon nach kurzer Zeit eintreten. Foto: Panorama von Sydney, Australien, bei Nacht.

man sich zwei Asse austeilt, 1/32 · 1/31 = 1/992. Die Wahrscheinlichkeit, daß auch die dritte ausgeteilte Karte nochmals ein As ist, beträgt 1/30, daher ist die Wahrscheinlichkeit von drei Assen nacheinander 1/32 · 1/31 · 1/30 = 1/29 760. Die Wahrscheinlichkeit, daß man sich vier Karten einer Sorte austeilt, das heißt zum Beispiel vier Asse, beträgt 1/32 · 1/31 · 1/30 · 1/29 = 1/863 040. Das bedeutet, daß man die wahrscheinliche Gewißheit hat, daß einmal von 863 040mal die ersten vier ausgeteilten Karten Asse sein werden.

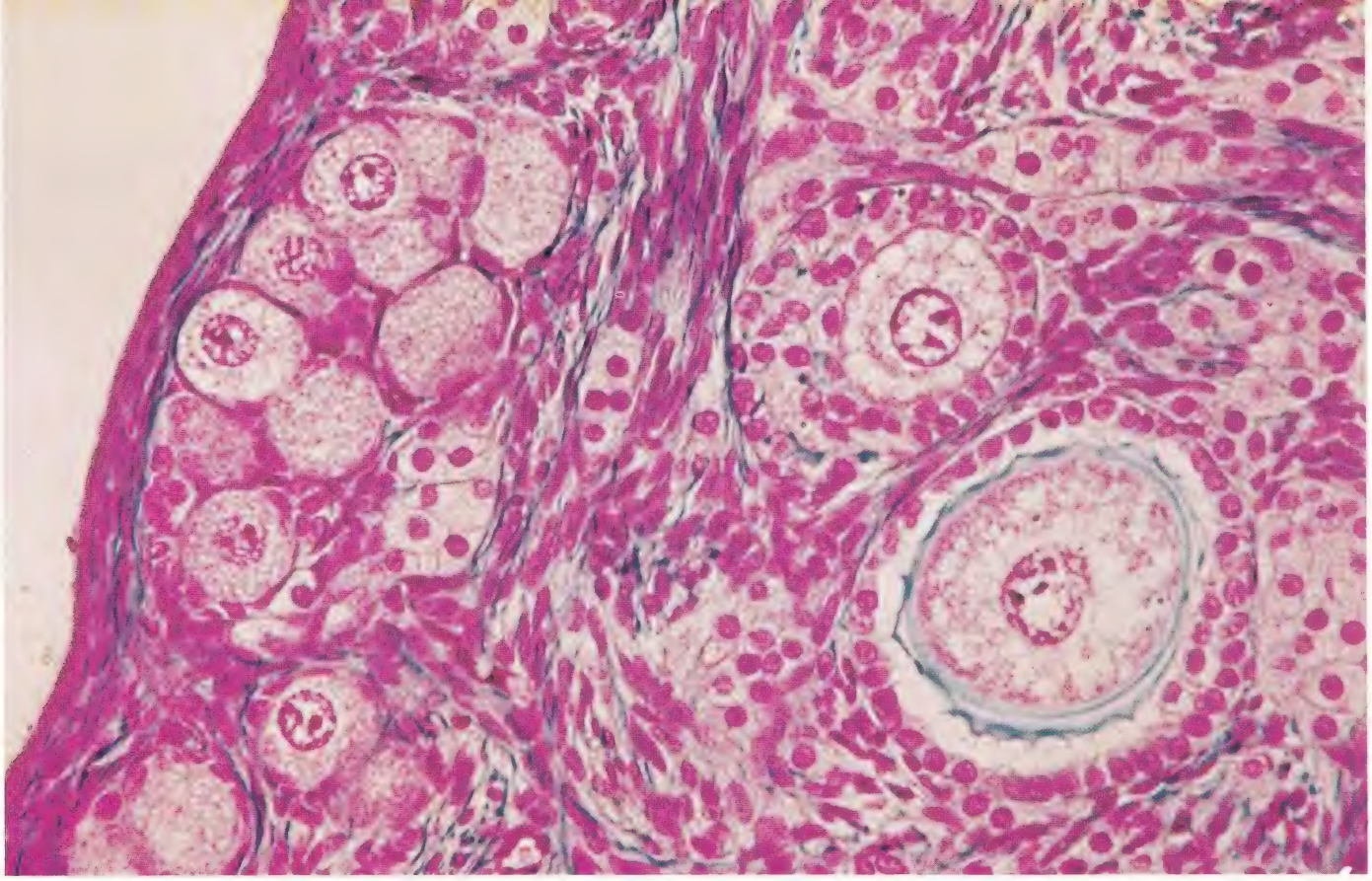
Nehmen wir nun weiter an, daß an einem Abend im Durchschnitt dreißig Spiele gemacht werden. Wenn man 863 040 durch die Zahl 30 teilt, kommt es unter 28 768 Fällen einmal vor, daß die ersten vier ausgeteilten Karten vier Asse sind. Was aber, wenn es viele Spieler sind, sagen wir einmal tausend, von denen jeder jeden Abend dreißig Spiele macht? Die Wahrscheinlichkeit liegt nun jeden Abend bei 1:28 768 (d.h., daß aufgerundet bei jedem 29sten Austeilen am Anfang vier Asse hintereinander fallen müssen, wenn alle Spieler gleichzeitig geben). Wenn es jedoch 28 768 Spieler wären, wäre die wahrscheinliche Gewißheit gegeben (1:1), daß ein Spieler als erste vier Karten vier Asse hintereinander bekommt. Bei 287 680 Spielern wären es bereits 10 und bei 2 876 800 Spielern bestünde schon die wahrscheinliche Gewißheit,

daß 100 von ihnen beim ersten Austeilen als erste Karten vier Asse nacheinander bekämen.

Und genau so hat sich vermutlich das Leben entwickelt – nicht als eine einzige Reihe von Ereignissen, sondern als eine Vielzahl von Ereignissen. Wir können annehmen, daß mehr als 2 Milliarden Jahre lang jeden Augenblick so viele Spiele gemacht wurden, wie es Stellen auf unserem Planeten mit den geeigneten physikalischen und chemischen Bedingungen zur Entstehung des Lebens gegeben hatte.

Es gibt noch eine weitere Ähnlichkeit zwischen dem Leben und unserem Kartenspiel. Wenn die erste Karte kein As ist, kann man mit den ersten vier Karten keine vier Asse mehr bekommen. Wenn aber diese erste Karte ein As ist (1 von 32), sind die Aussichten für ein zweites As geringfügig besser, nämlich 1 von 31. Für das dritte und vierte As stehen die Chancen jeweils noch besser, nämlich 1 von 30 bzw. 1 von 29. So ähnlich, lautet unsere Theorie, ging es vor sich, als das Leben entstand. Nachdem die unwahrscheinlicheren Ereignisse eingetreten waren, wurden die jeweils folgenden immer ein wenig wahrscheinlicher.

Die dritte Antwort, die wir dem Pessimisten entgegenhalten können, der meint, daß die Zeit, die für das Entstehen von Leben auf der Erde zur Verfügung stand, zu kurz gewesen sei, lautet wie folgt: Wenn wir von der



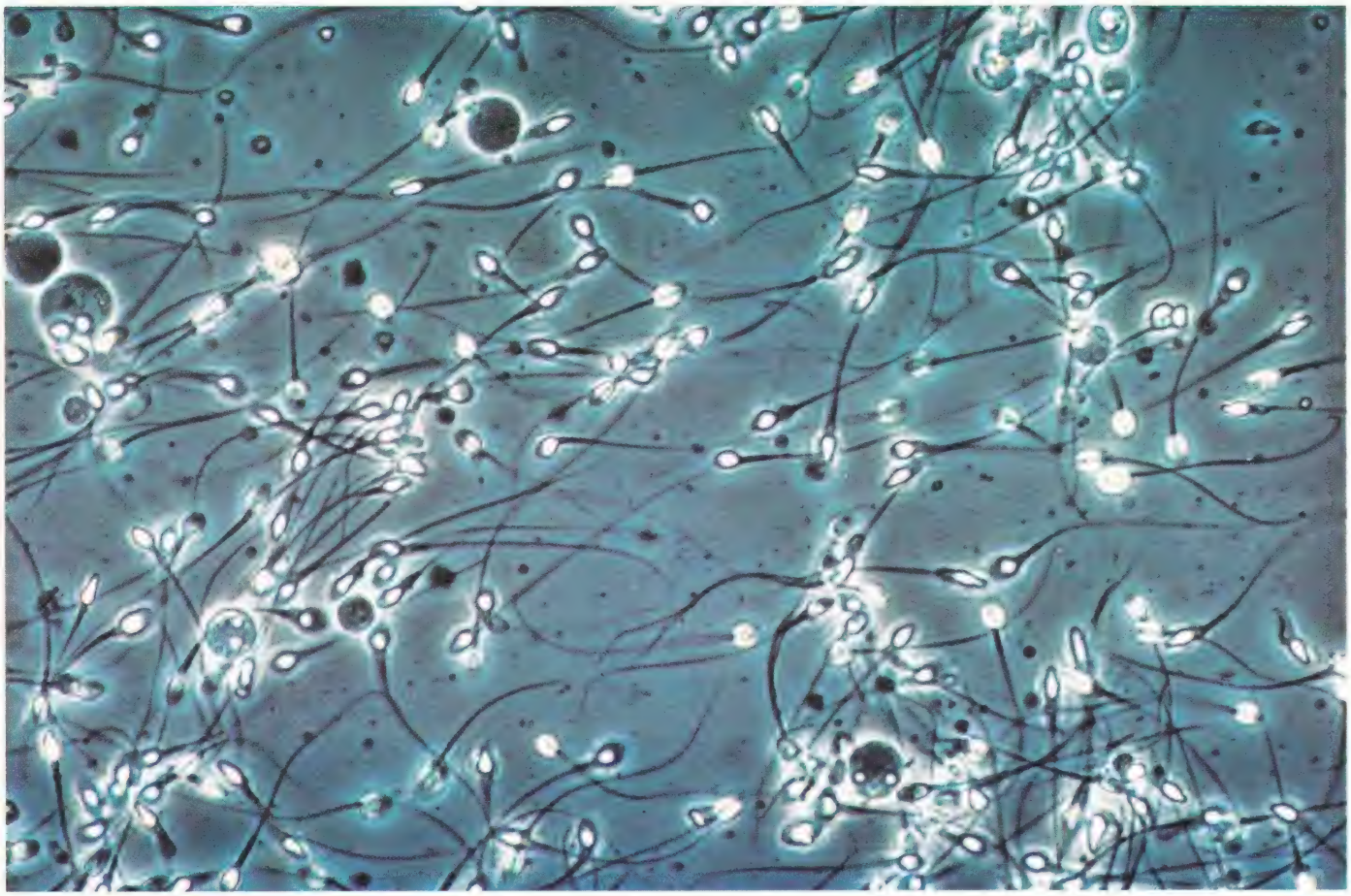
Oben: Ein wichtiges Spiel wird auch in diesem menschlichen Eierstock ausgetragen. Welche der Eizellen wird befruchtet werden?

Zeitspanne sprechen, die erforderlich ist, damit ein bestimmtes Ereignis mit wahrscheinlicher Gewißheit eintritt, heißt dies keineswegs, daß diese Zeitspanne etwas Absolutes ist. Mathematisch gesehen, muß ein Spieler 863 040 Spiele spielen, um die wahrscheinliche Gewißheit zu haben, daß einmal beim Austeilen die ersten vier Karten für ihn Asse sind. Dies bedeutet jedoch nicht, daß es unmöglich ist, daß ein Spieler, der zum allerersten Mal in seinem Leben Karten gibt, schon mit den ersten vier Karten vier Asse in der Hand hält. Andererseits kann ein anderer Spieler sehr viel mehr als 843 040 Spiele machen müssen, bevor ihm Fortuna mit den ersten vier Karten vier Asse gewährt.

In ähnlicher Weise dürfte trotz der unzähligen Stellen auf dieser Erde, wo sie erfolgt sein könnte, die Geburt der ersten lebenden Moleküle ein äußerst unwahrscheinliches Ereignis gewesen sein. Und dennoch geschah es gegen alle Wahrscheinlichkeit genau so, wie es in dem vergleichbaren Beispiel eben vorkommen kann, daß ein Spieler schließlich mit den ersten vier ausgeteilten Karten vier Asse aufdeckt. Um es so einfach wie möglich zu sagen: Ein Ereignis, das in einer begrenzten Zeitspanne nur mit größter Unwahrscheinlichkeit eintritt, wird nahezu unvermeidlich, wenn nur eine genügend lange Zeitspanne zur Verfügung steht. Außerdem muß „Ursprung des Lebens", wie wir noch sehen werden, nicht bedeuten, daß auf einmal alle chemischen Elemente zusammenkamen, um die komplexen organischen Moleküle zu bilden, die heute für alles Lebende typisch sind. Statt dessen könnte sich das Leben auch in einer Reihe von Einzelschritten entwickelt haben, von denen jeder die folgenden zwar nicht vorherbestimmt, jedoch hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit ihres Eintretens begünstigt hat.

Nun ist es natürlich durchaus möglich, diesem ganzen Gerede von Wahrscheinlichkeiten und Unwahrscheinlichkeiten auszuweichen und

Linke Seite: Mit ein wenig Glück bekommt man beim Pokern mit den ersten vier Karten vier Asse. Mit ein wenig Glück kann auch ein Planet, der rund viereinhalb Milliarden Jahre alt ist, zum Träger so vieler unterschiedlicher und komplexer Lebensformen werden, wie sie für die hier gezeigte tropische Landschaft typisch sind. Selbst wenn wir nach Berechnung der Chancen zu der Ansicht gelangen, daß dies höchst unwahrscheinlich ist, bedeutet „unwahrscheinlich" noch lange nicht „unmöglich".



Welchem dieser Spermien wird es gelingen, die Eizelle zu befruchten? Die Merkmale des neuen Menschen, der daraus entstehen wird, werden durch die Kombination des männlichen Elements (Samenzelle) und des weiblichen Elements (Eizelle) bestimmt. Jeder Mensch stellt etwas äußerst „Unwahrscheinliches" dar; trotzdem kommt er zustande.

die durchaus anerkannte Position zu vertreten, daß wir bisher nicht über genügend Wissen verfügen, um die Frage nach dem Ursprung des Lebens sinnvoll erforschen zu können.

Dennoch konnte ein bekannter englischer Wissenschaftler, der 1971 verstorbene Physiker J. D. Bernal, bemerken: „Die Zahl derjenigen, die – zugegeben mit unzulänglichen Fakten u. Methoden – versuchen, den Ursprung des Lebens zu erklären, nimmt weiterhin zu." Bernal, der sich selbst als Forscher stark für diese Frage interessierte, fügte noch hinzu: „Da der Ursprung des Lebens ein neues und für Gedankenspielereien geeignetes Thema ist, ist er unweigerlich attraktiv für die Köpfe vieler Leute, die insgesamt natürlich zwangsläufig Amateure sind, wenn sie auch bestimmte Wissensgebiete beherrschen, in denen sie anerkannte Experten sind ... Wie auch immer, auch ein Steckenpferd kann aufregend sein, es wird sich jedoch im Laufe der Zeit so abnutzen, daß es so gediegen und so langweilig wie die übrige Wissenschaft wird."

Vielleicht war die Entstehung des Lebens unwahrscheinlich, doch bleibt die Tatsache bestehen, daß es uns gibt. Gewiß läßt sich nicht nachweisen, daß irgendeine Darstellung über den Ursprung des Lebens wahr ist, doch werden wir uns nun mit den Argumenten derjenigen Wissenschaftler befassen, die im Rahmen unseres zunehmenden Wissens über die Welt um uns herum versuchen, den Ursprung des Lebens zu begreifen.

Von der primitiven Atmosphäre bis zu den ersten lebenden Molekülen

Aristoteles tritt dem Aberglauben entgegen

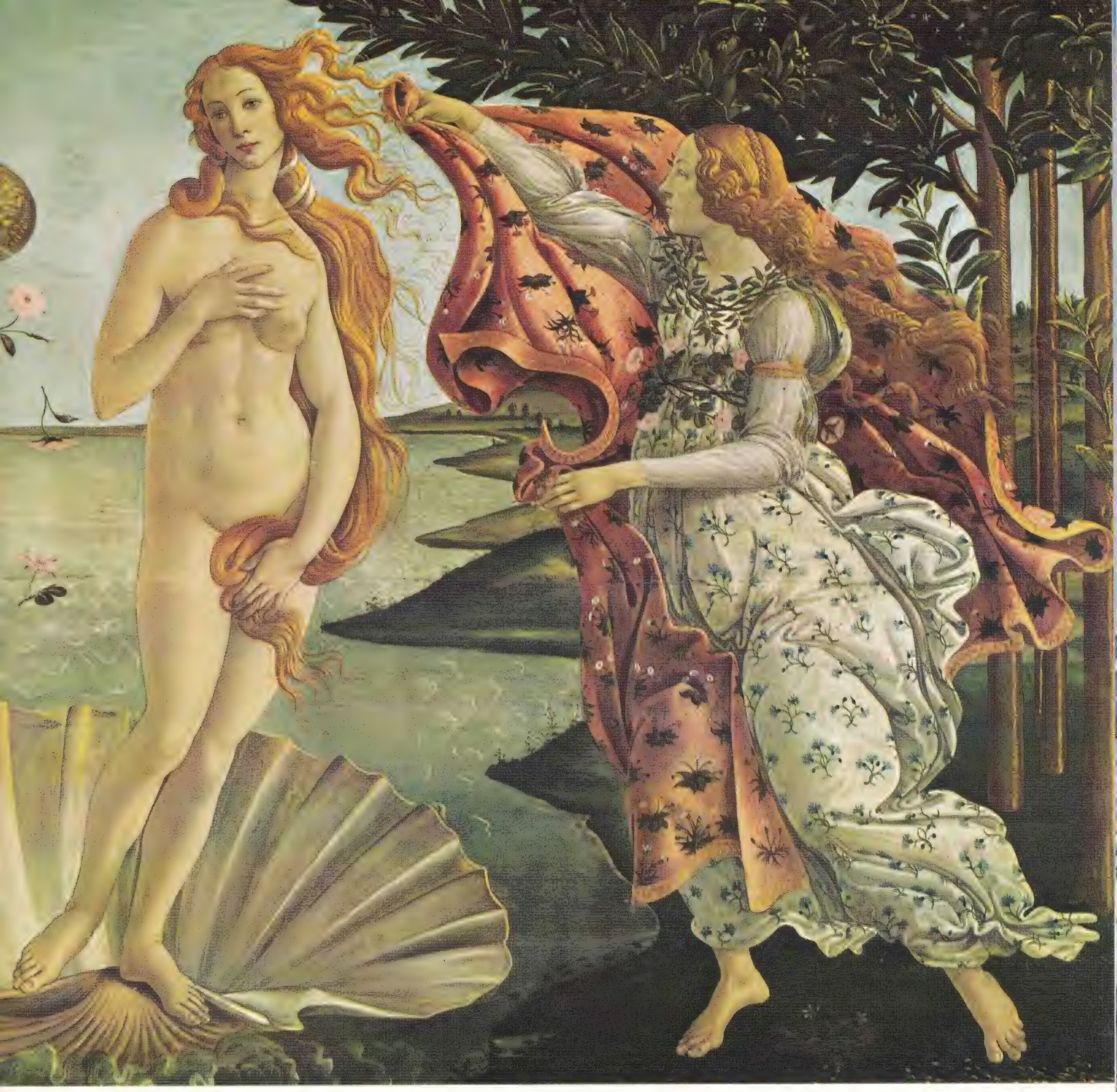
Wenn wir wissenschaftlich vom „Ursprung des Lebens" sprechen, sprechen wir von der *Urzeugung,* womit ein Anfang gemeint ist, der nicht davon ausgeht, daß der göttliche Schöpferwille eingegriffen hat. Dies bedeutet – wohlverstanden – nicht, daß alle Wissenschaftler Atheisten sind und daß sie bei der Formulierung ihrer wissenschaftlichen Argumentation die Religion kategorisch ausschließen. Es ist ungefähr dasselbe, wenn eine Mutter für die Genesung ihres kranken Kindes betet und ihm doch gleichzeitig die Arznei verabreicht, die der Doktor verschrieben hat. Hier handelt es sich um zwei verschiedene Welten, die im Kopf des Menschen von heute nebeneinander bestehen oder bestehen können, ohne sich gegenseitig auszuschließen.

Früher bedeutete das Wort „Urzeugung" etwas anderes als heute. Es bezog sich auf die Vorstellung, daß zu jedem beliebigen Zeitpunkt aus unbelebter Materie lebende Organismen hervorgehen könnten, sofern nur bestimmte Bedingungen gegeben seien. In der abendländischen Kultur – die ihre Wurzeln in der klassischen griechischen Kultur hat – wurde diese Vorstellung „wissenschaftlich" von Aristoteles (384–322 v. Chr.) vertreten. Er trat der mythologischen Interpretation der Urzeugung als einer Kundgebung der Schöpfermacht von Göttern oder Dämonen entgegen und behauptete „wissenschaftlich", daß lebende Wesen wie Würmer, Bienen, Maden, Milben und verschiedene andere Insekten spontan aus unbelebter Materie in der unmittelbaren Umgebung ihrer Biotope (z. B. Tau, Mist, Erde, Abfall, Wasser) entstünden. Irgendwie stellte Aristoteles' Begriff der Urzeugung gegenüber der Mythologie eine fortschrittliche und rationale wissenschaftliche Einstellung dar. Seine Theorie fand jedoch deshalb Zustimmung und Beachtung, weil er sie durch unmittelbare naive Beobachtungen alltäglicher Vorgänge (z. B. „Herausbildung" von Fliegen aus Abfall) untermauern konnte. „Aristoteles", so schreibt A. L. Oparin, „bestimmte das zukünftige Schicksal der Untersuchung über die Urzeugung bereits voraus."

Der Salinenkrebs (Artemia salina). Dieses Krustentier vermehrt sich bisweilen ungeschlechtlich (obwohl es über Geschlechtsorgane verfügt). Man nennt diesen Vorgang Parthenogenese (Jungfernzeugung).

Die Wissenschaft verwirft die Aristotelische Theorie

Fast 2 000 Jahre vergingen, bis jemand versuchte, die unwissenschaftlichen Daten dieser Alltagserfahrungen etwas tiefer zu analysieren. Im Jahre 1668 bewies der italienische Naturforscher Francesco Redi, ein Dichter und Arzt, daß sich aus Fleischstücken in einem hermetisch abgeschlossenen Behältnis keine Fliegen und andere Insekten entwikkeln. Heute weiß jeder Laie, daß Fliegen nicht durch Urzeugung entstehen, sondern daß sie aus Eiern ausschlüpfen, die andere,



ausgewachsene Fliegen auf Fleisch oder einer anderen Substanz abgelegt haben.

Redis Experiment konnte den jahrhundertealten Glauben an die Urzeugung allerdings nicht erschüttern. Mit der Erfindung eines neuen wissenschaftlichen Werkzeugs, des Mikroskops, verschob sich die Argumentation lediglich auf ein neues Gebiet. Als der niederländische Naturforscher Antonie van Leeuwenhoek seine selbstgeschliffenen

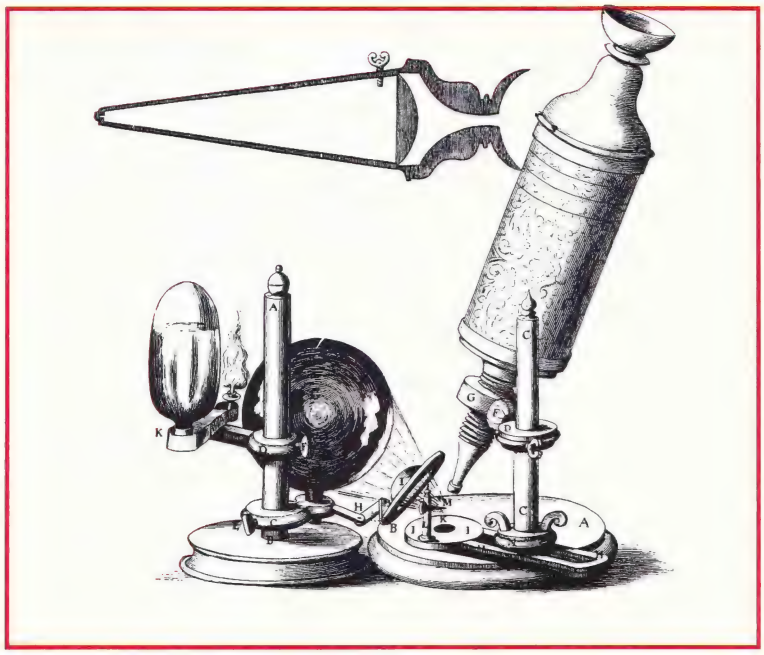
Botticellis „Geburt der Venus": die bildliche Darstellung einer der bezauberndsten und poesievollsten Sagen, die uns aus der griechischen Mythologie überliefert wurden. Jede alte Kultur hatte ihre eigene Mythologie darüber, wie die Welt und das Leben entstanden sind. Erst seit relativ kurzer Zeit gehen die Menschen dieses Problem wissenschaftlich an.

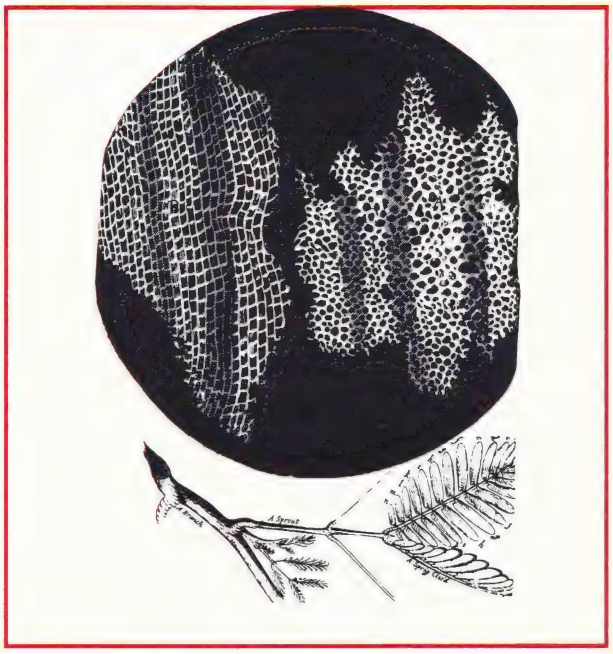
Louis Pasteur in seinem Labor vor einem Schwanenhalskolben. Dieses Hilfsmittel benutzte er im Jahre 1862, um die Unmöglichkeit der Urzeugung von Lebewesen zu beweisen.

Instrumente auf einen Wassertropfen einstellte, entdeckte er eine neue Welt von „winzigen Tierchen", die für das unbewaffnete Auge unsichtbar waren. Heute wissen wir, daß diese einzelligen winzigen Lebensspuren Mikroben oder Mikroorganismen waren. Im Jahre 1748 vertrat John T. Needham, ein englischer Naturforscher und Geistlicher, die Hypothese, daß die Urzeugung zwar unter Umständen nicht für die Fliegen, wohl aber für die unter dem Mikroskop sichtbaren Mikroorganismen gelte.

Needhams These wurde von dem großen französischen Naturforscher G. L. L. Buffon (1707–1788) unterstützt. In einer Reihe von Experimenten nahm Needham Hammelfleischbrühe „heiß vom Feuer", versiegelte sie dicht in Glasbehältern und erwärmte dann diese Behälter sorgsam auf heißer Asche. Die Behälter wurden einige Tage später entkorkt: Die Brühe wimmelte nur so von Mikroorganismen.

Diese Experimente wurden jedoch durch den italienischen Biologen Lazzaro Spallanzani (1729–1799) in Zweifel gezogen, der Hunderte von





Zwei Abbildungen aus dem Werk „Micrographia" von Robert Hooke, einem englischen Physiker. Das Buch wurde in London im Jahre 1665 veröffentlicht. Links: ein Mikroskop aus jener Zeit mit dem Apparat zur Beleuchtung. Rechts: Zwei Schnittflächen von Kork, unter dem Mikroskop betrachtet. Hooke gab den winzigen Poren der Pflanze den Namen „Zelle". Er war der erste, der diesen heute allgemein üblichen Begriff verwendete.

Experimenten mit einer Vielzahl von organischen Nährlösungen durchführte. Die Flüssigkeiten wurden in Glasbehälter geschüttet und unterschiedlich lange aufgekocht; danach wurden die Gefäße hermetisch verschlossen. In der Brühe zeigten sich keine Mikroorganismen. Heute würden wir sagen, daß Spallanzani die Brühe sterilisiert hat. Er brachte vor, daß Needham seine Hammelbrühe nicht lange genug gekocht habe, um alle Mikroorganismen darin zu töten, die aus der Luft in sie hineingelangt waren. Doch Needham und seine Parteigänger weigerten sich, Spallanzanis Schlußfolgerungen anzuerkennen. Sie wandten ein, daß Spallanzani dadurch, daß er die Brühe aufgekocht und dann hermetisch verschlossen hatte, eine nicht wahrnehmbare „Lebenskraft" abgetötet habe.

Die Doktrin der Urzeugung wurde von vielen Wissenschaftlern und Philosophen bis weit in das neunzehnte Jahrhundert hinein vertreten. Das lag zum großen Teil daran, daß die wissenschaftliche Beweisführung allzu häufig mit religiösen und sogar politischen Interessen und Argumenten verquickt worden war. Einige Philosophen gaben sich Spekulationen darüber hin, ob der Nachweis der Urzeugung (wie er Needham gelungen schien) in logischer Konsequenz das Vorhandensein Gottes widerlege. Andere fragten sich, ob die Widerlegung der Urzeugung nicht bestätige, daß zwangsläufig ein Schöpferakt Gottes erfolgt sein müsse. Die Frage aber, die sie sich hätten stellen müssen, lautet: Wer hatte seine Experimente besser angelegt?

Erst vor einem Jahrhundert hat die Wissenschaft ihre Unabhängigkeit gewonnen und ist seitdem in der Lage, vorurteilsfrei allein nach Wahrhaftigkeit zu streben. Das ist der Grund dafür, daß wir die heute weithin anerkannte These, Leben könne nicht durch Urzeugung aus unbelebter Materie entstehen, eben nicht so weit verabsolutieren, daß wir behaupten wollten, diese These müsse für alle Zeiten und absolut gültig sein. Einige Wissenschaftler stellen sich vielmehr die Frage, ob nicht zu irgendeiner Zeit einmal Umstände gegeben waren, in denen das

Rechte Seite: Die Moreno-Eiskappe in Patagonien. In Form von Eis verfestigtes Wasser schafft nicht die Bedingungen, die das Leben möglich machen.

Leben aus unbelebter Materie entstehen konnte. Wenn das so ist, wann war diese Zeit, und was waren die Merkmale der irdischen Umwelt, die etwas ermöglichten, was heute nicht mehr möglich ist? Die Frage, was unter Umständen hier auf der Erde in Urzeiten geschehen sein mag, verweist auf eine zweite Frage: Was ist unter Umständen anderswo im Weltall geschehen oder geschieht gerade in diesem Augenblick? Oder ganz direkt: Gibt es Leben auf anderen Planeten?

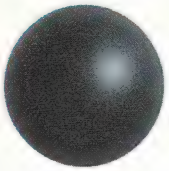
Licht und Atome im Überfluß

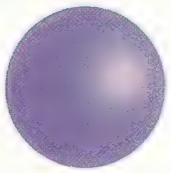
Bevor wir derartige Fragen beantworten können, müssen wir das Leben zuerst als eine äußerst komplexe Struktur chemischer Verbindungen begreifen, ohne es auf irgendeine Weise philosophisch zu definieren. Die Wahrscheinlichkeit, daß sich eine derart hochkomplexe chemische Verbindung bildet, hängt davon ab, wie häufig jeweils die Elemente, aus denen sich diese Verbindung zusammensetzt, in der Umwelt vorkommen; die Wahrscheinlichkeit wächst mit der Abundanz (Häufigkeit) der Elemente. Je „aktiver" die Elemente sind – das heißt, je leichter sie sich miteinander zu größeren und unterschiedlichen Molekülen zusammenschließen können –, desto komplexer wird die Verbindung. Die im

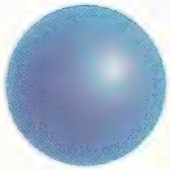
Unten: Die Grundelemente der lebenden Materie.

Wasserstoff (H)

Stickstoff (N)


Kohlenstoff (C)

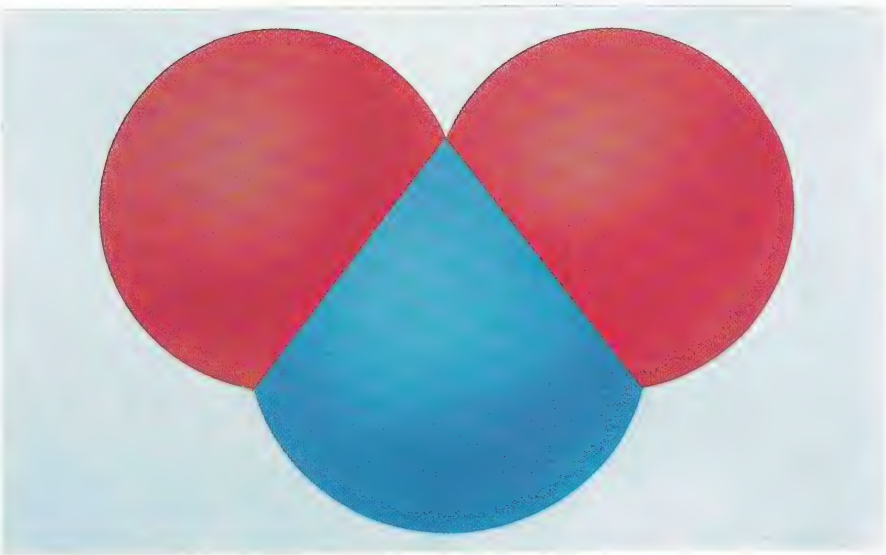

Phosphor (P)

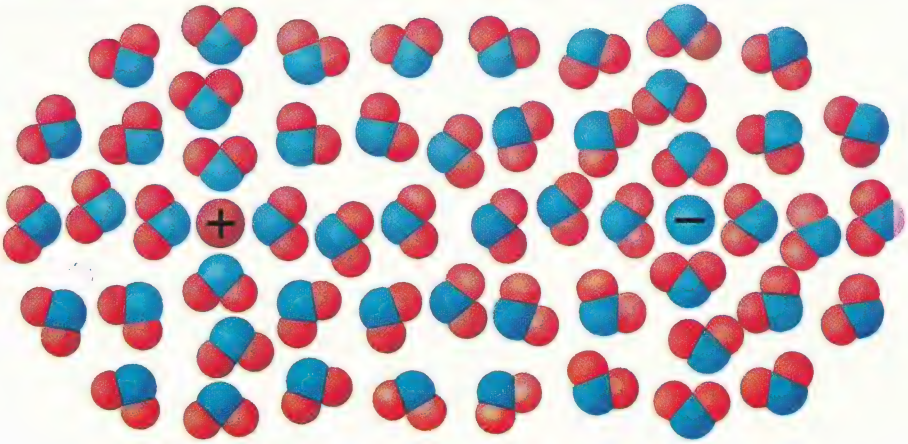

Sauerstoff (O)

Schwefel (S)

Universum	Erdkruste	Meerwasser	Atmosphäre	Gesamtheit der Lebewesen	menschlicher Körper
H 91	O 47	H 66	N 78,3	H 49,8	H 63
O 0,057	H 0,22	O 33	O 21	O 24,9	O 25,5
N 0,042	C 0,19	S 0,017	C 0,03	C 24,9	C 9,5
C 0,021		C 0,0014		N 0,27	N 1,4
S 0,001				P 0,030	P 0,22
				S 0,017	S 0,05

Eine Darstellung des Wassermoleküls, das zwei Wasserstoffatome und ein Sauerstoffatom hat.





Das Wassermolekül ist elektrisch gepolt, wobei die Wasserstoffatome den positiven und das Sauerstoffatom den negativen Pol bilden. Wenn wir also zwei Elektroden (die mit + für positiv und mit − für negativ geladen gekennzeichnet sind) in das Wasser einbringen, können wir davon ausgehen, daß die Wassermoleküle von ihnen, wie in der Zeichnung dargestellt, angezogen werden.

Weltall am weitesten verbreiteten Elemente sind Wasserstoff (H), Helium (He), Sauerstoff (O), Stickstoff (N) und Kohlenstoff (C). Da nun Helium keine Verbindungen eingeht, hat sich das Leben aller Wahrscheinlichkeit nach chemisch auf der Basis der Elemente Wasserstoff, Sauerstoff, Kohlenstoff und Stickstoff entwickelt.

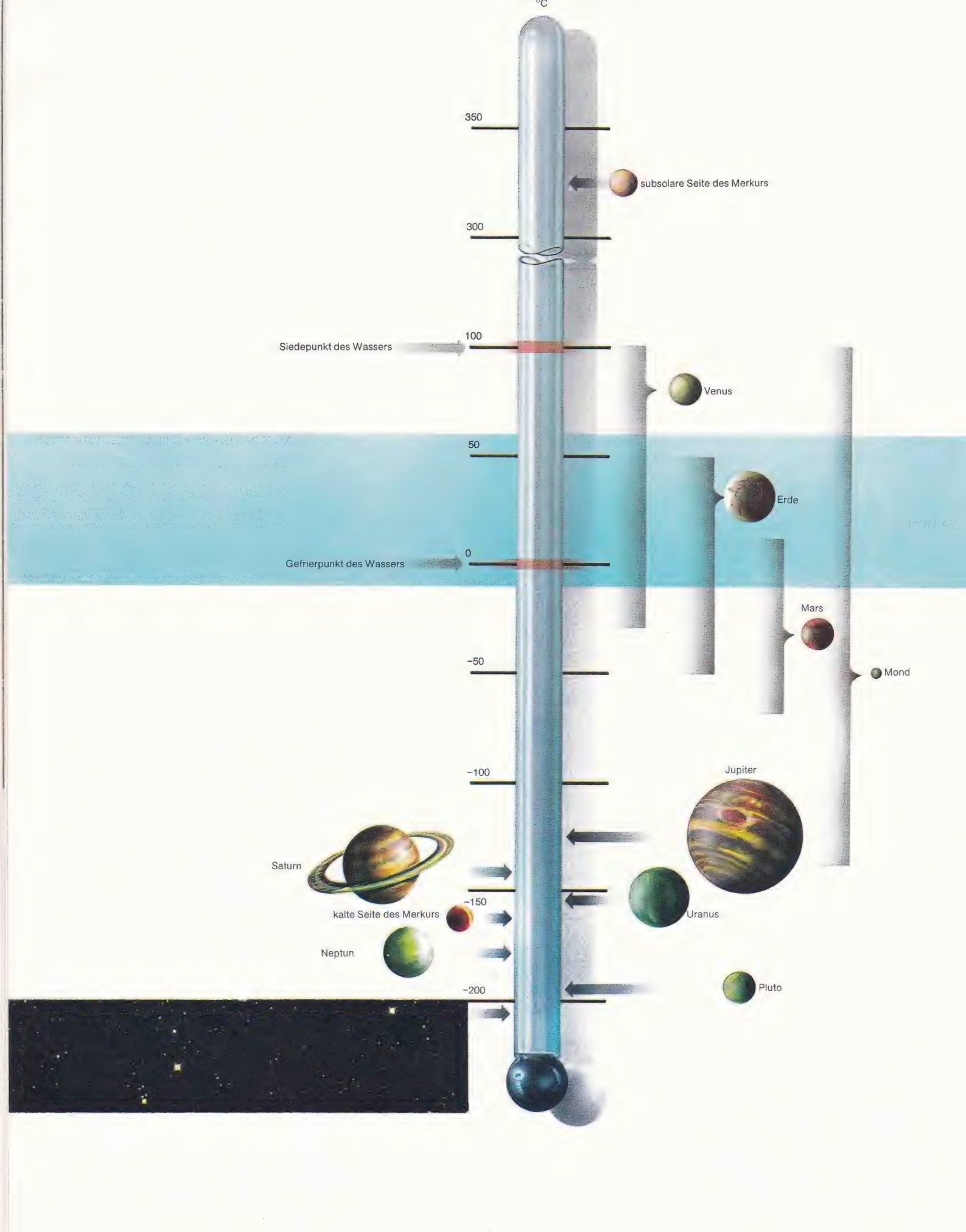
Das unruhige und beunruhigende Wasser

Es ist im übrigen höchstwahrscheinlich, daß das Leben dort entstanden ist, wo es *Wasser* gab, da Wasser (H_2O) mit außergewöhnlichen physikalischen und chemischen Eigenschaften ausgestattet ist. Es setzt sich aus Wasserstoff und Sauerstoff zusammen und dringt überall hin, wobei es Körper durchtränkt und ihre physikalischen Eigenschaften verändert. (Denken wir nur einmal daran, wie manche Kleidungsstücke beim Waschen einlaufen und wie sich eine Schranktür durch Feuchtigkeit verzieht!) Wasser löst viele Verbindungen wie Salz und Zucker und bereitet sie in einem solchen Ausmaß für neue chemische Reaktionen vor, daß die Menschen im Altertum zu sagen pflegten: *corpora non agunt nisi soluta* („Körper reagieren nur, wenn sie gelöst sind").

Im Winter gefriert Wasser und bildet durchsichtige Stalaktiten oder Eiszapfen. In diesem Aggregatzustand wären die chemischen Reaktionen nicht möglich gewesen, die das Leben entstehen ließen.

Diese außergewöhnliche Fähigkeit des Wassers, andere Substanzen zu aktivieren und sie zu Reaktionen zu veranlassen, ergibt sich daraus, daß fast alle Substanzen, seien es einfache (Elemente) oder Verbindungen, eine Affinität entweder für die Wasserstoffgruppe des Wassermoleküls oder für die Sauerstoff-Wasserstoff-Gruppe (Hydroxylgruppe, OH-Gruppe) haben und damit reagieren können. Das Wassermolekül sollte eigentlich H–OH geschrieben werden, um darauf hinzuweisen, daß es an wasserstoffarme Elemente oder Verbindungen ein H und an hydroxylarme Gruppen ein OH abzugeben hat. Substanzen, die mit einem H zusammenhängen, werden „Säuren" genannt; die mit dem OH aggregierten Substanzen nennt man „Laugen". Wenn man Wasser mit Chlor (Cl) mischt, bildet sich eine sehr scharfe Säure, die Salzsäure: $Cl + (H-OH) \rightarrow HCl + OH$; wenn man es mit Kalium (K) mischt, bildet sich eine sehr starke Lauge, Kaliumhydroxid: $K^+ + (H-OH) \rightarrow H^+ + KOH$. Eine Säure und eine Lauge wiederum reagieren miteinander und erzeugen ein Salz und Wasser: $HCl + KOH \rightarrow KCl + (H-OH)$, d. h., Salzsäure und Kaliumhydroxid bilden zusammen Kaliumchlorid und Wasser. Eine große Anzahl von chemischen Reaktionen ergeben sich aus diesem „Bauerntanz" von Wasserstoff- und Hydroxylgruppen, die

Wir können uns vorstellen, daß irgendein Winkel unseres Planeten unter einem wolkenlosen Nachthimmel so aussah, bevor das Leben begann.


°C
350
subsolare Seite des Merkurs
300
100
Siedepunkt des Wassers
Venus
50
Erde
0
Gefrierpunkt des Wassers
Mars
−50
Mond
−100
Jupiter
Saturn
−150
kalte Seite des Merkurs
Uranus
Neptun
−200
Pluto

sich entweder einzeln oder zusammen in die „offenen Arme" anderer chemischer Substanzen werfen und sich dann wieder treffen, um erneut Wasser zu bilden.

Wegen dieses Spiels des „Fangens und Wiederloslassens" oder der chemischen Unruhe des Wassers, die mit seiner physikalischen Ruhelosigkeit vergleichbar ist, können sich die chemischen Reaktionen, die zum Entstehen von *lebenden Molekülen* geführt haben, nicht ohne Wasser abgespielt haben. Aber offensichtlich reicht es nicht aus, daß Wasser vorhanden ist. Es ist außerdem notwendig, daß es in flüssiger Form und nicht etwa gefroren als Eis vorhanden ist. Genauer gesagt, mußte Wasser im ausgewogenen Verhältnis von flüssigem und dampfförmigem Aggregatzustand – wie wir es auf unserer Erde vorfinden – zur Verfügung stehen, damit Leben entstehen konnte.

Oben: Üppiges Leben im Bereich der Wasserfälle des Rio Iguaçu in Brasilien.

Linke Seite: Die Temperaturskala in unserem Sonnensystem. Der blaue Gürtel entspricht den Temperaturen der Erde, bei denen Leben möglich ist; die beiden Planeten, die der Erdtemperatur am nächsten kommen, sind Venus und Mars. Auf den anderen Planeten dürfte Leben unmöglich sein.

Masse, Entfernung und Umlaufbahn

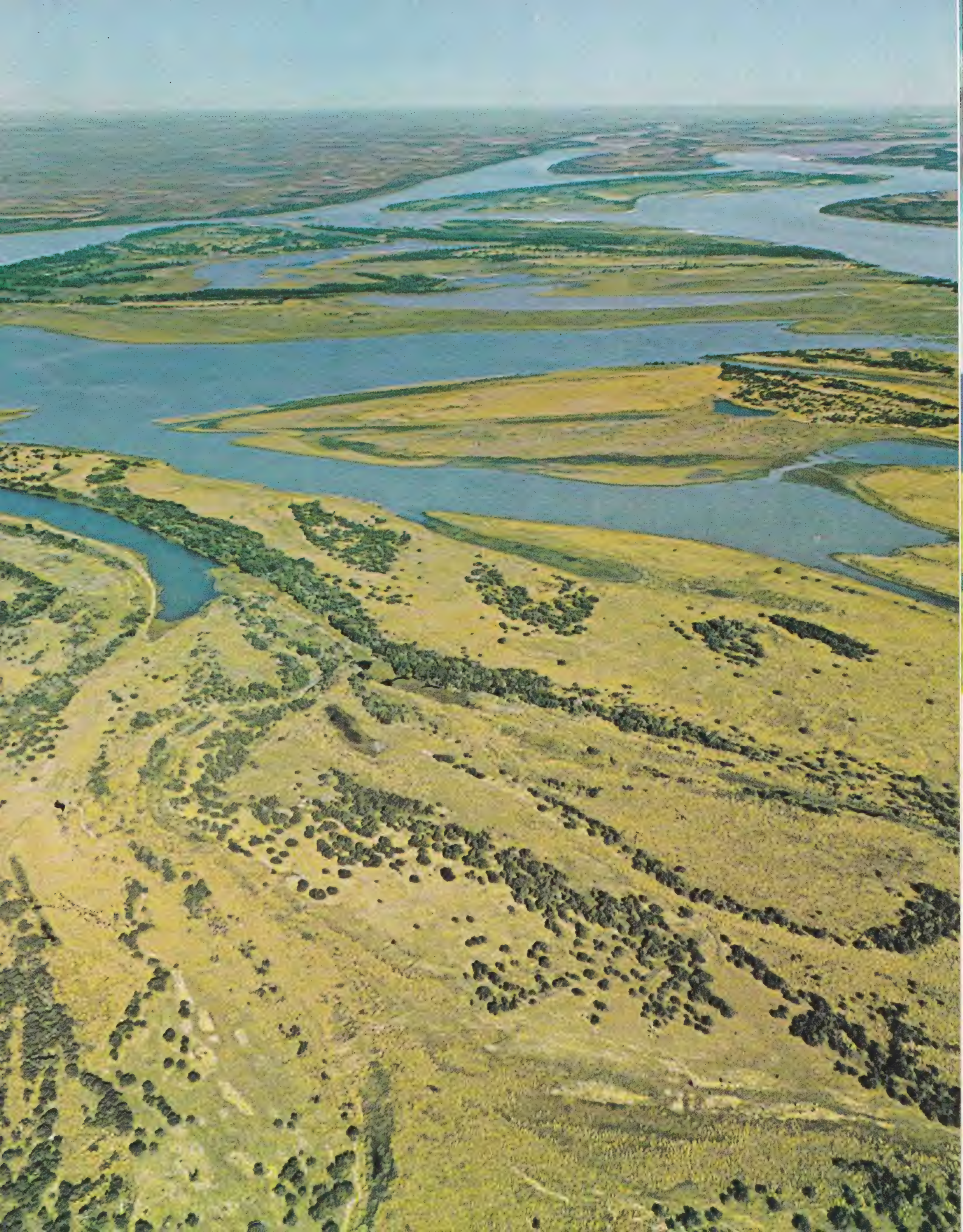
Solche Überlegungen zeigen uns, daß bestimmte Bedingungen unbedingt notwendig waren, damit sich auf unserem Planeten Leben bilden konnte. Zu ihnen gehören die Masse des Planeten, seine Entfernung von der Sonne und die Bewegung des Planeten selbst. Ein Planet, der zu nahe an der Sonne ist, dürfte eine zu hohe Temperatur haben, so daß das ganze Wasser verdampft. Wenn die Masse des Planeten zu klein ist, ist seine Schwerkraft zu gering, und der Planet verliert seinen Wasser-

Oben: Wenn es Leben auf einem marsähnlichen Planeten gäbe, würde die Vegetation kaktusähnliche Pflanzen aufweisen, da diese Pflanzen Wasser speichern müßten. Vermutlich müßten sie nachts ihre Blätter eng zusammenfalten, um sich vor dem Frost zu schützen.

Rechte Seite: Luftaufnahme des Paraná (Argentinien), bei dem das Wasser zwischen Landzungen versickert. Die gemäßigten Temperaturen und der Wasserreichtum haben unsere Erde zum idealen „Wohnsitz des Lebens" gemacht.

dampf, genau wie die Erde riesige Mengen der leichteren Elemente Helium und Wasserstoff verloren hat. Wenn der Planet andererseits zu weit von der Sonne entfernt ist, ist seine Temperatur zu niedrig, und das Wasser gefriert, so daß es keine raschen chemischen Reaktionen auslösen kann. Wenn der Planet schließlich beim Umlauf um die Sonne wie der Merkur im wesentlichen immer nur eine Seite der Sonne zukehrt, dürfte eine Seite des Planeten wahrscheinlich zu heiß und die andere zu kalt sein.

Allein vom Standpunkt der Planetenentfernung von der Sonne und ihren thermischen Auswirkungen gesehen, gibt es in unserem Sonnensystem nur einen Gürtel von rund 120 Millionen km Breite, innerhalb dessen das Leben, so wie wir es kennen, möglich ist. Die Venus liegt an der inneren Grenze dieses Gürtels, 108 Millionen km von der Sonne entfernt. An der äußeren Grenze liegt der Mars, in einer Entfernung von 228 Millionen km von der Sonne. Unsere Erde, die rund 150 Millionen km von der Sonne entfernt liegt, befindet sich in der Mitte dieses Gürtels, der, soviel wir heute wissen, noch mit dem Leben vereinbar ist. Daher ist die Erde in unserem Sonnensystem der bevorzugte Planet. Obwohl es Leben in unserem Sinne auch in anderen Sonnensystemen geben mag, wo immer es Planeten gibt, die der Erde ähnlich sind, so ist doch in unserem Sonnensystem das Leben überall sonst mehr oder weniger unmöglich; wenn überhaupt, wäre Leben am ehesten noch auf der

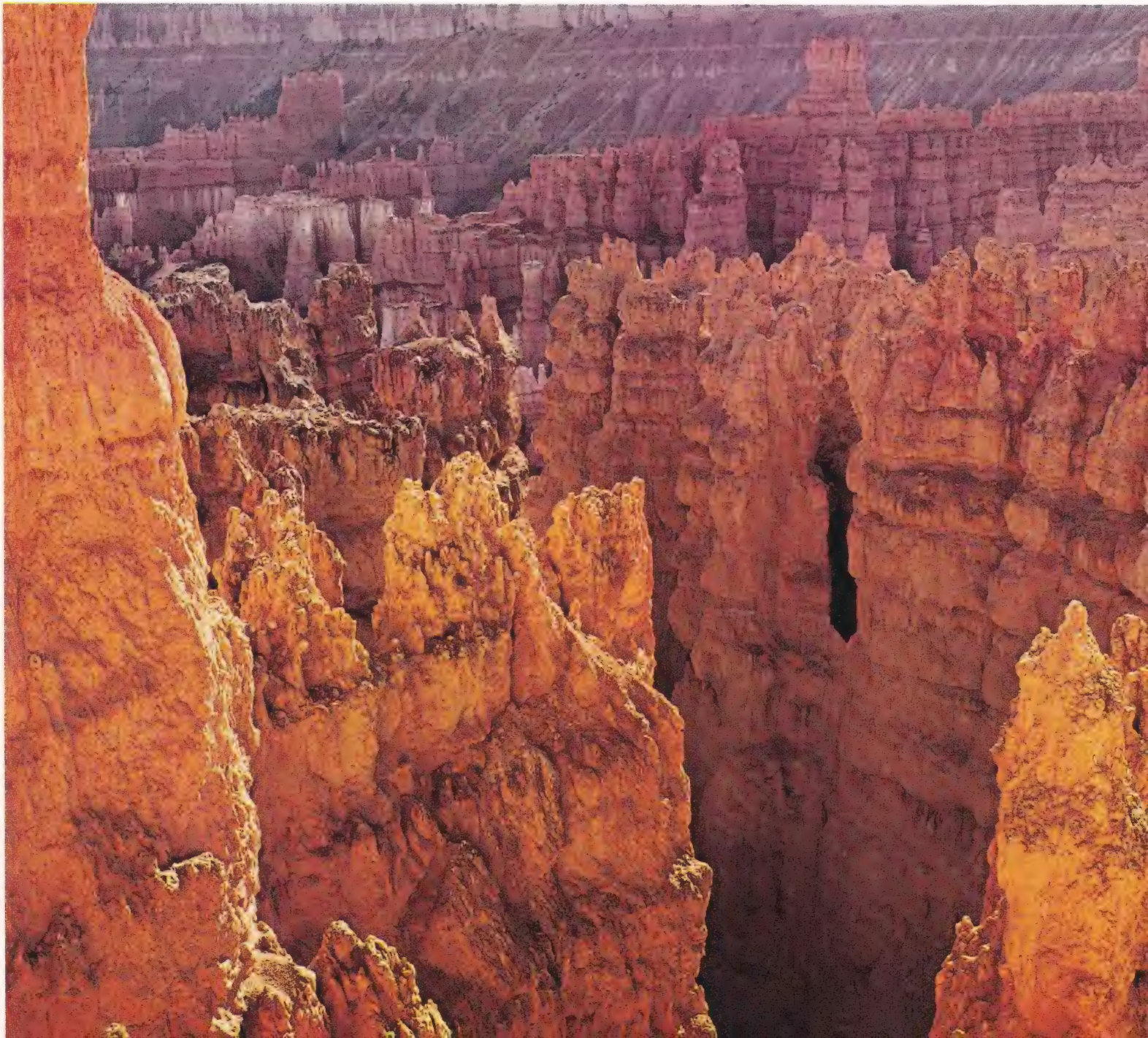


Unten: Die nackten, ausgewaschenen Felsen des Bryce Canyon in Utah (USA) lassen erahnen, wie die irdische Landschaft ausgesehen haben mag, bevor sich das Leben entwickelte.

Venus denkbar oder – mit erheblichen Zweifeln – auf dem Mars, der allerdings außerordentlich trocken ist. Der für die Entstehung von Leben in unserem Sonnensystem günstigste Ort liegt hier, auf unserem Heimatplaneten. Was also, werden wir uns jetzt fragen, ist auf dieser unserer Erde vor langer, langer Zeit geschehen, als Leben entstand?

Der Wasserstoff und seine Verbindungen

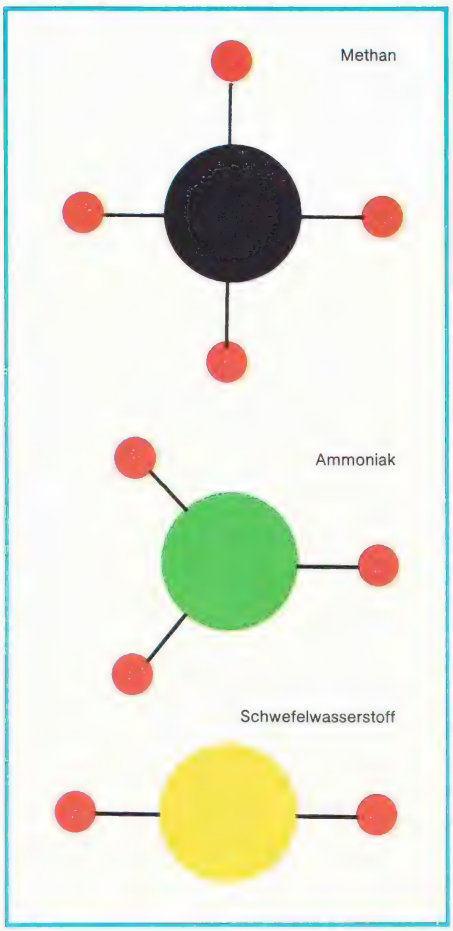
Früher erfuhren wir, daß die Erde eine *Uratmosphäre* aus Wasserstoff hatte. Heute wäre eine solche Wasserstoffatmosphäre lebensfeindlich. Hätte andererseits die Uratmosphäre aus Sauerstoff bestanden, wären die ersten lebenden Moleküle auf der Stelle oxydiert, und es hätte ebenfalls kein Leben gegeben! Durch den Überfluß an Wasserstoff



konnten sich viele Elemente wie Kohlenstoff und Stickstoff, die damals an der Erdoberfläche austraten oder mit Meteoriten darauf hinunterregneten, mit dem Wasserstoff verbinden. Sauerstoff verband sich mit Wasserstoff und bildete Wasser (H_2O); Kohlenstoff verband sich mit Wasserstoff und bildete Methan (CH_4); Stickstoff verband sich mit Wasserstoff und bildete Ammoniak (NH_3). Es gab auch noch andere Wasserstoffverbindungen wie Schwefelwasserstoff (H_2S), der nach faulen Eiern riecht. „Eine schöne Welt, um mit dem Leben anzufangen!" Diese Welt verwandelte sich jedoch so, daß das primitive Leben möglich wurde, und das Leben wiederum veränderte die Welt, während es sich ihr anpaßte.

Die Hauptbestandteile der Uratmosphäre sind noch heute in der Natur zu finden, doch nur das Wasser ist in großer Menge vorhanden. In Millionen von Jahren haben umfangreiche physikalisch-chemische Prozesse ein Wasservolumen erzeugt, das auf 1,4 Milliarden km³ geschätzt wird, von denen 97,2 % in den Weltmeeren enthalten, weitere 2 % als Eis an den Polen und auf Berggipfeln gefroren und nur 0,8 % in dem ungeheuren Kreislauf von Verdunstung, Regen und Fließgewässern, die sich ins Meer ergießen, enthalten sind; in jeder Minute wird ein winziger Bruchteil dieses Bruchteils aus dem riesigen Kreislauf entnommen und zirkuliert mehr oder weniger lange in einem kleineren Kreislauf,

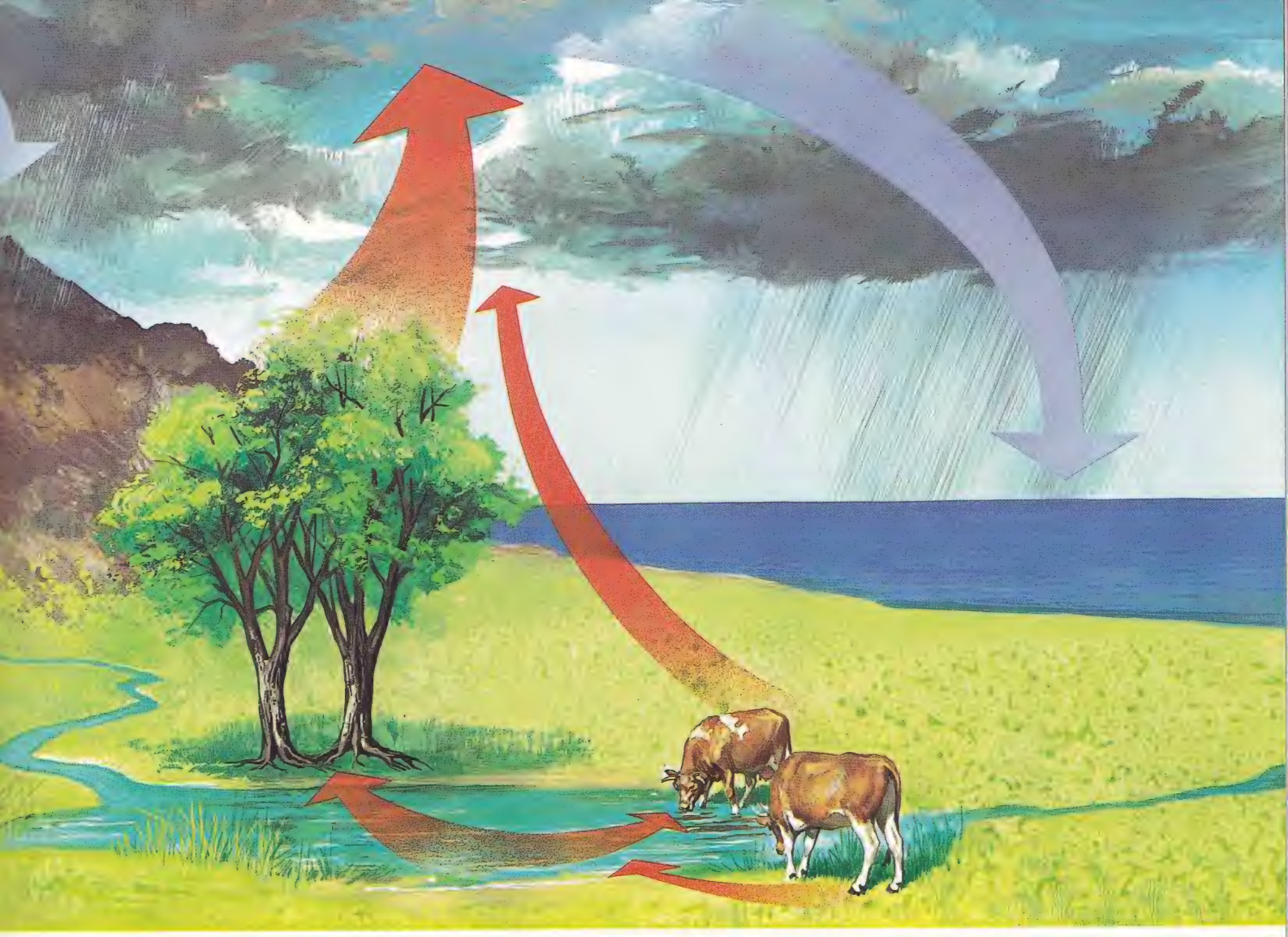
Unten: Die rechte Abbildung zeigt, wie die Wasserreserven auf unserem Planeten verteilt sind. Natürlich befindet sich die größte Wassermenge mit etwas mehr als 97 % in den Meeren, Salzseen und Binnenmeeren, die durch die größte Kugel dargestellt sind; danach kommen die Eiskappen (rund 2 %), Grund- und Oberflächenwasser (rund 0,6 %), Süßwasserseen, Ströme und Flüsse (ca. 0,009 %); die Feuchtigkeit in der Atmosphäre schließlich wird durch die kleinste Kugel dargestellt (0,001 %). Die Gesamtmenge an Wasser auf unserem Planeten beträgt mehr als 1 Milliarde und 330 Millionen km³.
Auf der linken Abbildung sind die wichtigsten Verbindungen der Uratmosphäre mit hohem Wasserstoffgehalt dargestellt.



der als Leben bekannt ist: Wasser wird von Pflanzen aufgenommen und von Tieren getrunken. es tritt dann wieder in den großen Wasserkreislauf ein, indem es verdunstet oder zusammen mit Stoffwechselprodukten ausgeschieden wird.

Also ist das Leben nur ein kleiner „Abstecher" aus dem endlosen Kreislauf oder der unablässigen Bewegung des Wassers auf unserem Planeten. Deswegen beschreiben manche Wissenschaftler das Leben als ein „Epiphänomen der Hydrosphäre", als eine nebensächliche oder Randerscheinung des großen Wasserkreislaufs.

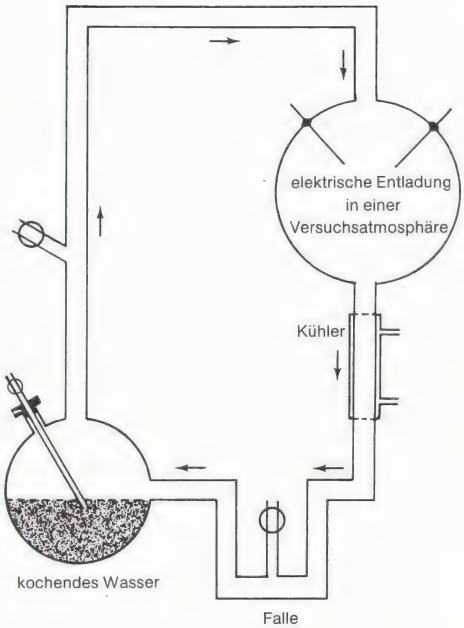
In den „Eingeweiden der Erde" befinden sich geringe Mengen von Methan und Schwefelwasserstoff, die entweder von selbst oder durch vom Menschen hineingetriebene Bohrlöcher entweichen. Schwefelwasserstoff tritt auch im Wasser mancher Mineralquellen zutage. Methan wird im allgemeinen aus Bohrlöchern gewonnen, doch ist dies kein Urmethan mehr, das sich durch eine chemische Reaktion zwischen Kohlenstoff und Wasserstoff bildete. Das heute geförderte Methan ist nach Meinung der meisten Wissenschaftler ein Zerfallsprodukt riesiger Massen von einstmals lebenden Organismen und daher biologischen Ursprungs. Auch das heute in der Natur vorkommende Ammoniak ist



biologischen Ursprungs, es ist das Ergebnis der bakteriellen Zersetzung von organischen Rückständen von Tieren. Man denke z. B. daran, wie penetrant es in einem stark verschmutzten Pferde- oder Kuhstall nach Ammoniak riecht.

Wenn sich Sauerstoff, Kohlenstoff und Stickstoff mit Wasserstoff verbinden, sind die daraus entstehenden Verbindungen so stabil, daß Energie von außen erforderlich ist, die Wasser-, Methan- oder Ammoniakmoleküle zu spalten und aus den Bruchstücken komplexere Moleküle aufzubauen. Die Theorie der Wasserstoffatmosphäre und der Verbindungen, die sich darin bildeten, wurde von dem russischen Biochemiker A. I. Oparin (geb. 1894) und dem britischen Physiologen J. S. Haldane (1860–1936) aufgestellt; sie ist heute allgemein anerkannt. Nach dieser Theorie wurde die Energie, die zur Aufspaltung dieser Wasserstoffverbindungen erforderlich war, durch die ultravioletten Strahlen des Sonnenlichts und der elektrischen Entladungen aus den Blitzen im Gefolge heftiger Gewitterstürme geliefert. Begleitet waren diese Energieeinwirkungen durch eine sehr starke Verdampfung von Wasser und schwere Regenfälle, die dafür sorgten, daß das Wasser zirkulierte.

Der Wasserkreislauf: Das Wasser verdunstet vom Meer und aus der von lebenden Organismen (Pflanzen und Tiere) ausgeschiedenen Luft. Es kondensiert und geht als Niederschlag wieder über dem Meer und dem Festland nieder. Die Niederschläge auf den Gebirgen fließen in Form von Süßwasser ab, das die Pflanzenwurzeln bewässert und Trinkwasser für die Tiere darstellt. Das von den Tieren ausgeschiedene Wasser fließt wieder zum Süßwasser, das sodann zurück ins Meer fließt, wo der Zyklus von neuem beginnt.



Bringen wir den Ozean ins Labor

Oben: Die rechte Abbildung zeigt Schwefelquellen im Yellowstone-Nationalpark in Wyoming (USA). In diesen Schwefelquellen wurden Mikroorganismen festgestellt, die vermutlich den primitiven Mikroorganismen ähneln.

Die linke Abbildung zeigt im Schaubild das Experiment von Miller. Der „Falle" werden Wasserproben entnommen, in denen komplexe Moleküle, die für lebende Organismen typisch sind, nachgewiesen werden können.

Rechte Seite: Eine lange Zeit unaufhörlicher Gewitterstürme ließ große Wassermassen auf die Erde niederstürzen. Die Blitze lieferten die Energie für diese ersten chemischen Reaktionen, aus denen lebende Moleküle entstanden.

Nun war dies alles eine rein theoretische Beweisführung, bis Versuche unternommen wurden, die Theorie experimentell zu überprüfen. Ein Experiment, das einen wichtigen Meilenstein in der wissenschaftlichen Entwicklung dieser Theorie darstellte, wurde 1953 von Stanley Miller durchgeführt, als dieser noch Student im Labor von Harold Urey an der Universität von Chicago war. Bei diesem Experiment stellte ein Glaskolben, der kochendes Wasser enthielt, den Urozean dar und ein zweiter Glaskolben, der die wasserhaltigen Dämpfe dieses Ozeans aufnahm, die Atmosphäre, die sich in der Folge bildete. Diese Atmosphäre enthielt Methan, Ammoniak und eine Spur Wasserstoff (von dem ein Teil noch nicht in den Weltraum entwichen oder in chemischen Verbindungen gebunden war). Die beiden kugelförmigen Glasbehälter wurden durch zwei Röhren verbunden. Eine Röhre enthielt „Meeresdunst", der in die „Atmosphäre" geleitet werden sollte. Die andere Röhre wurde gekühlt; in ihr floß die Flüssigkeit, die sich niederschlug, wenn der Dampf abkühlte (was dem Regen entsprach, der aus der Atmosphäre in den Ozean fiel).

In der Glaskugel, die die Atmosphäre darstellte, gab es zwei Elektroden, zwischen denen sich elektrische Entladungen abspielten, die den um vieles stärkeren Blitzen bei Gewittern entsprachen. Dieses Experiment war also eine einfallsreiche Miniwiedergabe dessen, was sich nach allgemeiner Überzeugung vor mehr als vier Milliarden Jahren abgespielt hat. Auch wurde in Millers Experiment das Zeitelement drastisch reduziert. Was sich in dieser langen Spanne der prähistorischen Zeit tatsächlich abspielte, fand im Äquivalent von unzähligen Flaschen wie der von Miller und über Milliarden von Jahren hinweg statt! Warum sollte nicht einmal ein „Glücksfall" eintreten? Miller hatte den

Nachweis erbracht, daß komplexe organische Moleküle, die in der Natur nur in lebenden Organismen vorkommen, unter den Bedingungen entstehen können, die er nachgebildet hatte.

Die ersten lebenden Moleküle in der Ursuppe

Elektrische Entladungen werden seither im Labor benutzt, um die Energie aus den ultravioletten Strahlen im Sonnenlicht zu simulieren. In jenen fernen Zeiten erreichten diese Strahlen die Erdoberfläche, weil es in der Atmosphäre keinen ungebundenen Sauerstoff gab, der als Filter hätte dienen können. Das Ausmaß ultravioletter Strahlung, die damals auf die Erdoberfläche einwirkte, war im Vergleich zu heute immens. Wären diese ersten lebenden Moleküle weiterhin den ultravioletten Strahlen ausgesetzt gewesen, wären sie zerfallen. Doch die Moleküle waren schwerer, schwerer als Methan und Ammoniak, und dies gab ihnen Schutz. Denn anstatt in der Atmosphäre zu bleiben, in der sie sich gebildet hatten, vermischten sie sich mit Wassertropfen und fielen mit dem Regen zu Boden. Auf trockenem Boden zersetzten sie sich rasch, doch blieben diejenigen unversehrt, die ins Meer gerieten. So bildeten sich zwar die ersten organischen Moleküle in der Atmosphäre, doch sammelten sich viele von ihnen in der undurchdringlichen Finsternis der Ozeane an. Während Milliarden von Jahren produzierten so vereinzelte chemische Reaktionen in der Atmosphäre, Auswaschungen durch Regen und das erneute Verdampfen von Wasser eine umfangreiche Konzentration von einfachen organischen Molekülen im Ozean: Das Meer wurde zur *Ursuppe.*

Auf der Abbildung sind urzeitliche Schlammpfützen zu sehen. Sie werden deswegen in einem unrealistischen Licht gezeigt, weil zu der damaligen Zeit kein freier Sauerstoff vorhanden war, der das Meer und den Himmel hätte blau färben können. In diesen Schlammpfützen konzentrierten und organisierten sich die Moleküle, aus denen sich das erste Leben bildete.

Von den freien zu den verketteten Molekülen

Ausgangspunkt und Endpunkt

In der Ursuppe begann ein neues Stadium in der Entstehung des Lebens, das schwieriger zu rekonstruieren ist als das vorige, da zu seiner Bestätigung bis jetzt keine Labortests erdacht werden konnten. Wir sind der Ansicht, daß der Ausgangspunkt für diese neue Phase in der Zeit lag, als sich die organischen Moleküle langsam konzentrierten, und der Endpunkt in der Zeit, als die ersten Molekülketten gebildet wurden. Lebende Substanz besteht aus langen *Molekülketten:* Zuckerketten in der Zellulose von Pflanzen, Fettsäureketten, Aminosäureketten in den Eiweißen, aus denen sich das Körpergewebe von Tieren zusammensetzt, und Nukleinsäureketten in den Zellkernen (den Grundeinheiten aller Organismen).

Gesichertes Wissen ist, daß es für den Übergang vom monomeren (= niedermolekularen) zum polymeren (= hochmolekularen) Zustand erforderlich war, daß die monomeren Moleküle erstens dicht konzentriert sein und zweitens Energie aufnehmen mußten. Die Energie war zu jener Zeit in Form von ultravioletten Strahlen im Überfluß vorhanden. Man kann sich jedoch nur schwer vorstellen, daß die im offenen Meer verteilten Monomere nicht genügend konzentriert waren, um sich zusammenfügen und Ketten oder Polymere bilden zu können. Viel wahrscheinlicher ist, daß sich die Konzentration in der erforderlichen Dichte entlang den Stränden abspielte, in flachen Mulden, in denen sich das Wasser sammelte. Auch heute können wir noch sehen, wie der Schaum des Meeres am Strand Pfützen bildet. Zu jener Zeit bestanden die Schaumpfützen aus organischen Monomeren, die die Vorläufer der Lebensformen waren. Die Hitze aus den Sonnenstrahlen verdunstete das Wasser aus diesem Schaum und brachte die Monomere einander immer näher. Schließlich verband sich ein Molekül mit einem Nachbarmolekül: es bildete sich ein einfaches Polymer; bei diesem Prozeß wurde ein Wassermolekül freigesetzt. Dies spielte sich vermutlich noch eher dort ab, wo der Strand aus Schlamm bestand, da die organischen Moleküle dazu neigen, sich an Tonteilchen im Schlamm zu sammeln, die ihrerseits als Katalysatoren wirkten, als Substanzen also, die chemische Reaktionen in Gang bringen oder beschleunigen. Heute gibt es in jedem

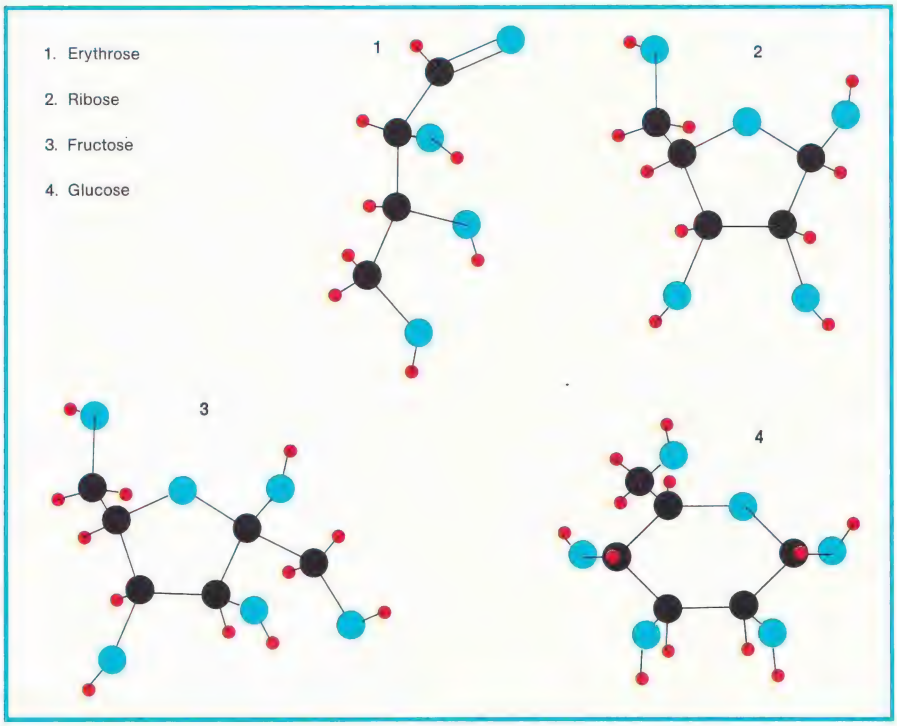
Lebewesen spezifische *Katalysatoren* für jede einzelne chemische Reaktion, die sogenannten Enzyme. In jenen fernliegenden Zeiten jedoch war vermutlich der Ton ein nichtspezifischer Katalysator – der nicht so schnell wirkte wie ein Enzym, jedoch in der Lage war, eine Vielzahl unterschiedlicher Kombinationen von Molekülen zu fördern. Über das, was sich auf diesem dunklen Pfad abspielte, wissen wir nichts weiter. An seinem Ende finden wir die entscheidenden polymeren Moleküle, die für das echte Leben notwendig sind und aus denen sich die uns bekannten lebenden Organismen zusammensetzen.

Lebende Ketten: Kohlenhydrate, Fette, Proteine und Nukleinsäuren

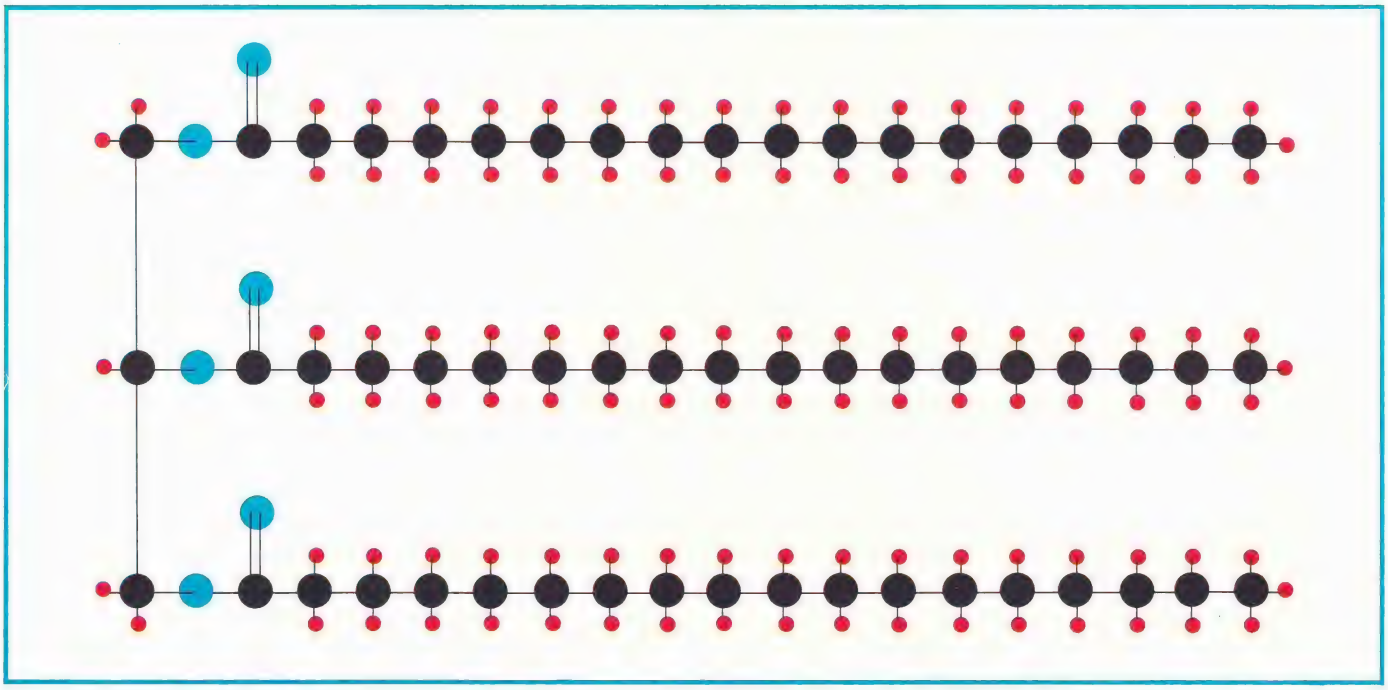
Schweifen wir einmal ab, um herauszufinden, was „lebende" Moleküle sind, und welche Funktionen sie erfüllen. Einfachere Moleküle sind *Zucker* (oder *Kohlenhydrate*), die sich aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff zusammensetzen. Wegen ihrer Einfachheit waren sie vermutlich die ersten Moleküle, die Ketten bildeten. Das verbreitetste Zuckermolekül ist Glucose, die, wie wir später sehen werden, einen Energielieferanten darstellt. Eine Gruppe von miteinander verbundenen Zuckermolekülen bildet ein *Polysaccharid,* welches eine Energiespeicherzelle ist. Langkettige Polysaccharide, die Stärke genannt werden, sind in den Samen von Weizen oder in Kartoffeln enthalten und liefern die Energie, die die Pflanze zu ihrem Wachstum braucht. Die Zellulose ist ein solch langkettiges Polysaccharid, das das Stützskelett von lebenden Pflanzen bildet.

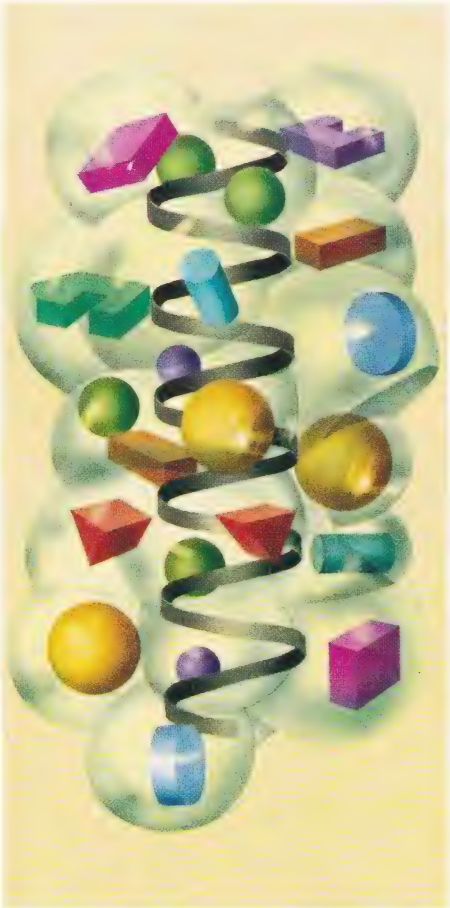
Die *Fette* oder *Lipide* sind Molekülketten, die sich ebenfalls in der Hauptsache aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff zusammensetzen. Auch sie stellen einen Energiespeicher dar, weil sich Fett in Zucker und Zucker in Fett umwandeln läßt. Doch haben die Fette auch noch

Linke Seite: Die Konzentration komplexer Moleküle schuf ein schäumendes Gebräu im Meer: die „Ursuppe", in der die ersten Lebensformen Gestalt annahmen.



Wegen ihres einfachen Baus waren Zuckermoleküle vermutlich die ersten Moleküle, die sich herausbildeten.





andere, äußerst wichtige Lebensfunktionen. Wie wir weiter unten sehen werden, bestand eine der ersten darin, daß sie die Schutzmembranen für Lebewesen bildeten.

Die *Proteine* oder *Eiweiße* sind eine weitere äußerst wichtige Gruppe von polymeren Molekülen. Hierbei handelt es sich um sehr lange Ketten, die aus monomeren Molekülen gebildet werden, die sogenannten *Aminosäuren,* d.h. Säuren, die Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff und manchmal Schwefelatome enthalten. Zwanzig Grundaminosäuren, die in verschiedenen Kombinationen miteinander verbunden werden, bilden Tausende von unterschiedlichen Proteinen. Bis vor zwanzig Jahren glaubte man noch, daß die Proteine allein die Lebenssubstanz schlechthin seien und daß sie mit allen Grundeigenschaften des Lebens ausgestattet seien. Heute jedoch schreiben wir den Proteinen die wichtige Rolle zu, über alle Lebensvorgänge sozusagen „Aufsicht zu führen", da die Enzyme, welche die spezifischen Katalysatoren bei chemischen Reaktionen in lebender Materie darstellen, selber Proteine sind. Eine der Funktionen, die die Proteine in tierischen Organismen erfüllen, ähnelt derjenigen, die die Zellulose in pflanzlichen Organismen wahrnimmt. Sie bilden die Struktur, das Stützskelett und den größten Teil der Materie, aus der sich Zellen zusammensetzen. Wenn Proteine verbrannt werden, verbreiten sie den typischen Geruch von verbranntem Fleisch. Dieser Geruch entsteht auch beim Verbrennen eines Stückchens Wollgewebe, nicht jedoch bei Baumwolle, die ja hauptsächlich aus Zellulose besteht.

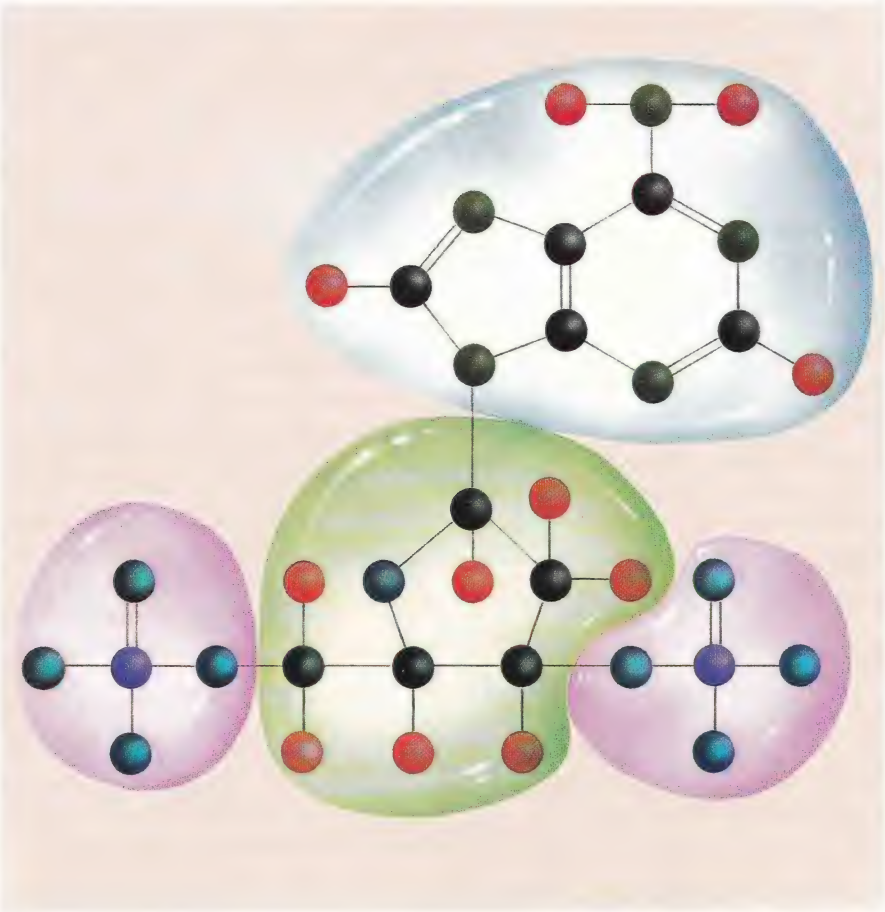
Die biochemischen Vorgänge in lebenden Organismen werden durch die katalytische, enzymatische Einwirkung gewisser Proteine bestimmt. Wenn jedoch das Leben aus einer bestimmten Reihe chemischer Reaktionen besteht, hatten da nicht die Wissenschaftler Recht, wenn sie die Proteine als die Lebenssubstanz schlechthin bezeichneten? Nein!, und zwar aus folgendem Grund: Die Proteine können nicht

als Schablonen oder Muster dienen, nach denen die Aminosäuren „ausgerichtet" und dann in Reaktionen miteinander verknüpft werden können, die neue Proteine bilden. Daher können sich die Proteine nicht vermehren. Diese Fähigkeit, sich selbst zu vermehren, ist jedoch ein grundlegendes Merkmal des Lebens.

Die *Nukleinsäuren* nun sind die polymeren Moleküle, die diese Fähigkeit haben, Aminosäuren so auszurichten, daß sie Proteine bilden und sich vermehren; genauer gesagt, handelt es sich um die *Desoxyribonukleinsäure (DNS)* und die *Ribonukleinsäure (RNS).* Wie wir aus der Abbildung ersehen können, gibt es zwischen DNS und RNS nur geringfügige Unterschiede. Wenn man das Proteinmakromolekül mit einer „Botschaft" vergleicht, die mit allen Buchstaben des Alphabets des Lebens (zwanzig Aminosäuren) geschrieben ist, kann man das DNS-Makromolekül mit einem verschlüsselten Code vergleichen, der mit einer viel kleineren Anzahl von Symbolen aufgezeichnet ist. Der telegrafische Code oder das telegrafische Alphabet kennt nur zwei Symbole – den Punkt und den Strich. In ähnlicher Weise ist das *DNS-Molekül* ein Polymer, das aus lediglich vier verschiedenen Monomeren (den vier Stickstoffbasen der Abbildung) gebildet ist, die jeweils verschieden angeordnet sind. Das eigentümliche Merkmal des DNS-Moleküls liegt jedoch darin, daß es eine *Doppelschraube (Doppelhelix)*

Linke Seite oben: Die Struktur eines komplexen Fettmoleküls, wie es in der Butter zu finden ist. Organismen können Nahrungsreserven nicht in Form von Zucker speichern, da der Zucker wasserlöslich ist; doch liefern Fettmoleküle Reserven an Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen, die im Bedarfsfall freigesetzt werden und sich mit Sauerstoff verbinden können, um den für die Energiegewinnung unentbehrlichen Zucker zu bilden.

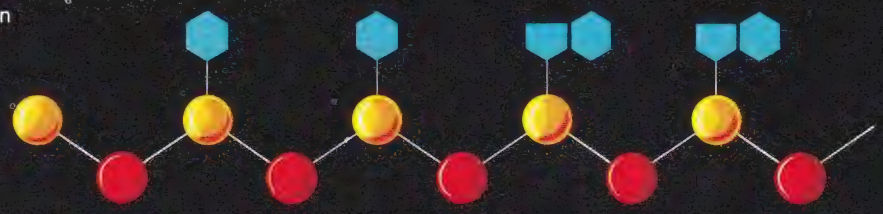
Linke Seite unten: Eine Aminosäurekette in spiraliger Form stellt ein Peptid dar; Peptidketten bilden ein Protein. Die durchsichtig gezeichnete blaugrüne „Ummantelung" stellt Wasser dar, das sich an die Aminosäuren anlagert.

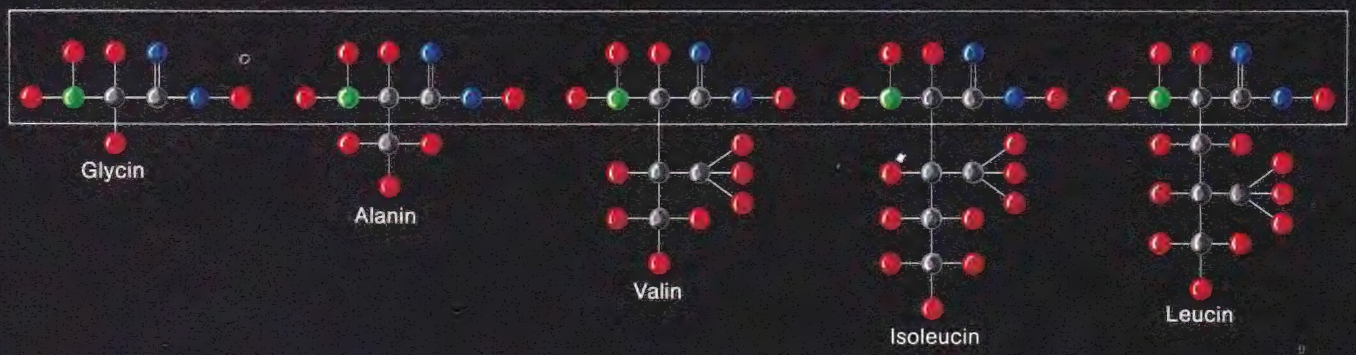


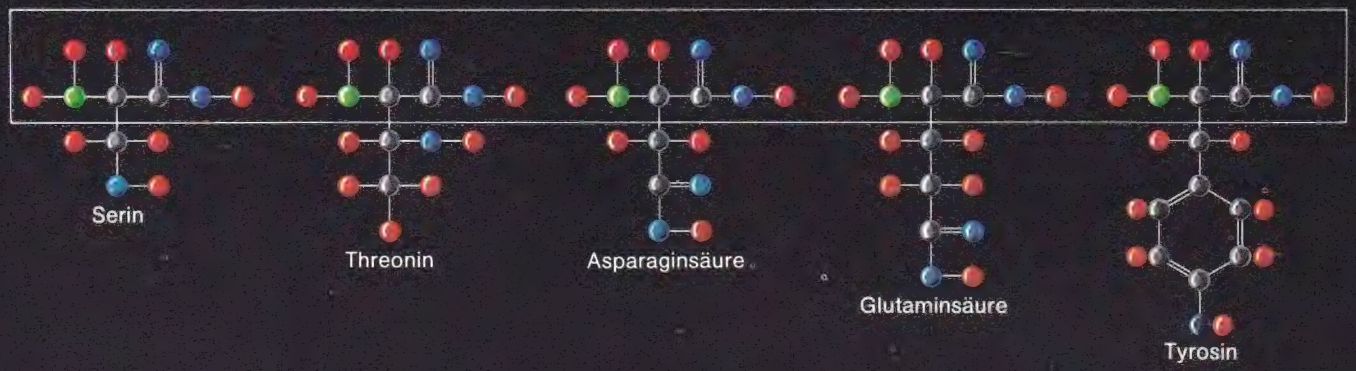
Ein Nukleotid, ein Glied in der Kette der Desoxyribonukleinsäure (DNS). In den rosafarbenen „Ummantelungen" befindet sich Phosphorsäure, in den grünen Desoxyribosezucker und in den blauen die Stickstoffbase (Adenin).

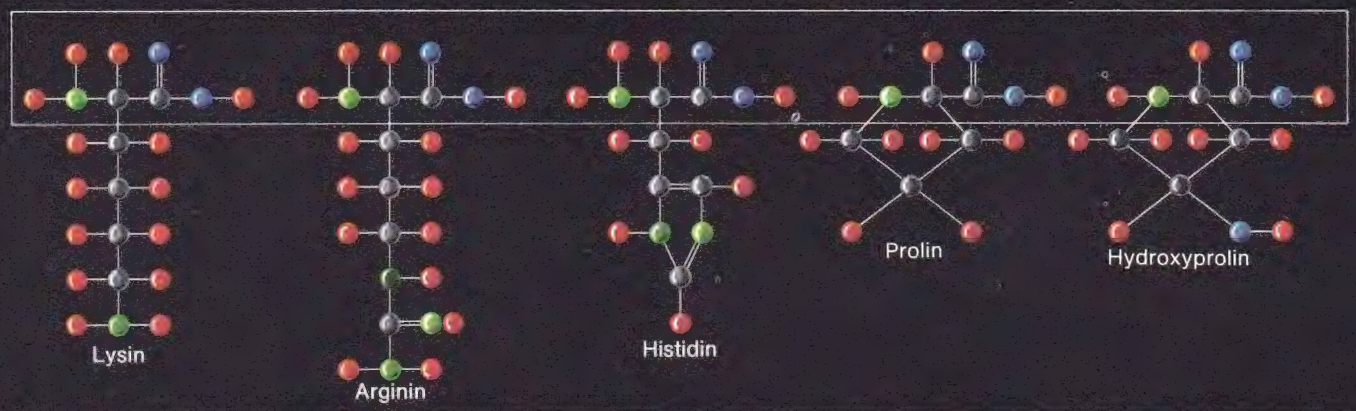
Rechts oben ein einzelner DNS-Faden:
Zuckermoleküle gelb, Phosphorsäuremoleküle rot, Stickstoffbasen hellblau.
Unten die 20 Aminosäuren, die im wesentlichen die Proteine bilden.

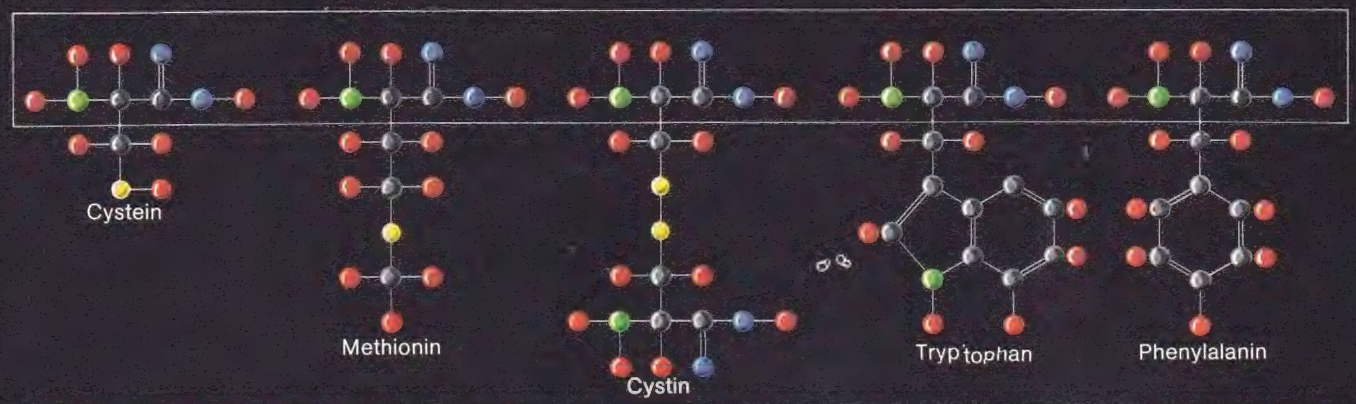
schwarz = Kohlenstoff
dunkelblau = Sauerstoff
rot = Wasserstoff
grün = Stickstoff
gelb = Schwefel







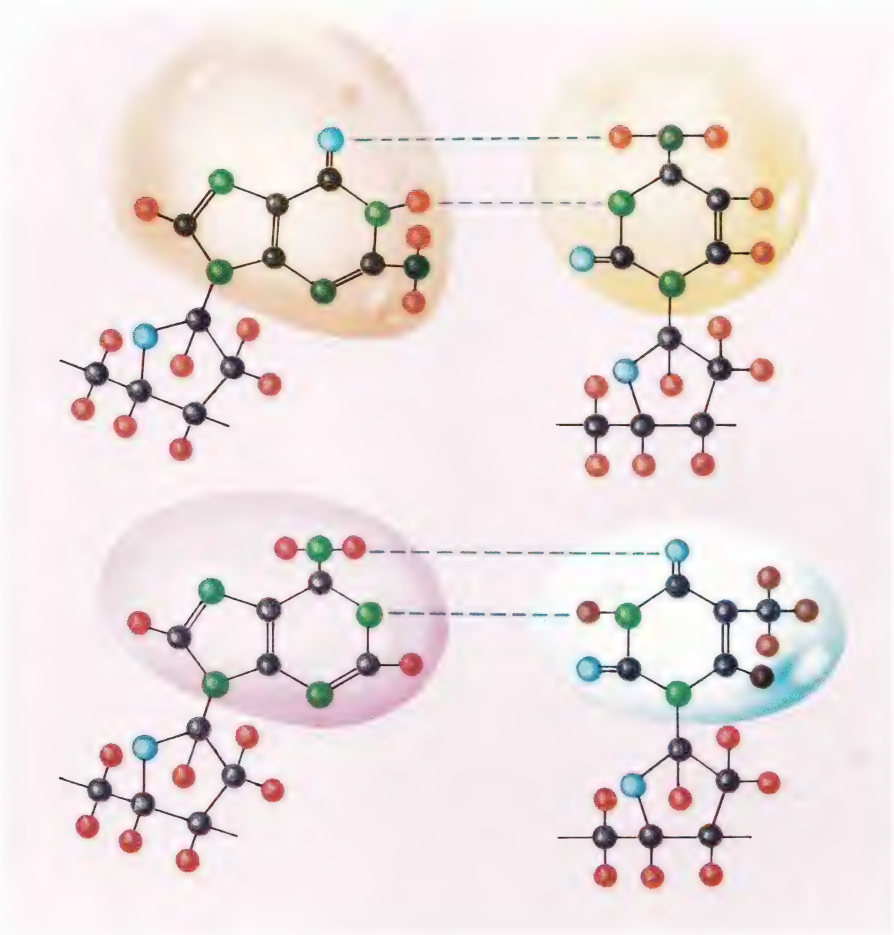




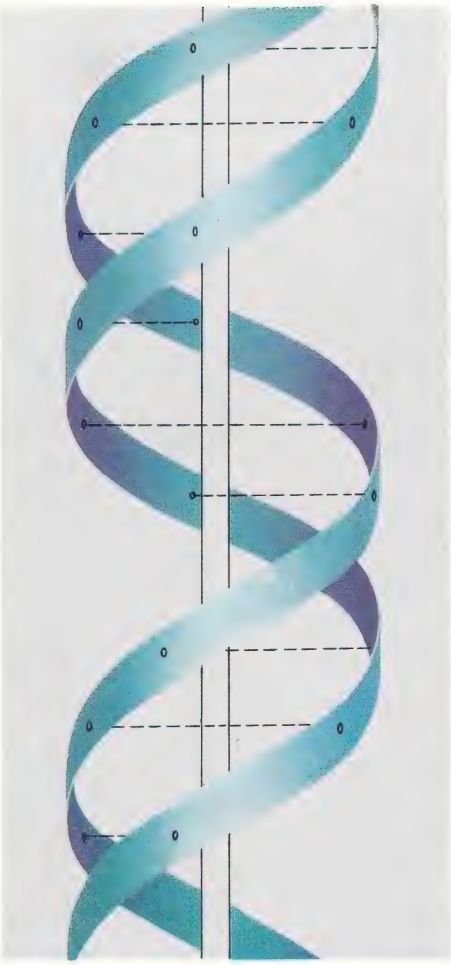
bildet, ungefähr wie ein zu einer Spirale verdrehter Reißverschluß, der aus den zwei parallel zueinander angeordneten Ketten gebildet ist, die einander ergänzen. Wenn die beiden Ketten getrennt werden, zieht jede Kette andere Stickstoffbasen an und bildet damit eine Kette, mit der sie sich wieder ergänzt. (Die „positive" Kette schafft sich einen „negativen" Partner; die „negative" Kette schafft sich einen „positiven".) Anstelle einer doppelten Kette am Ende dieses Vorgangs haben wir zwei identische Doppelschrauben. Die DNS-Vermehrung ist die Grundlage der Vermehrung bei allen Lebensformen.

Eine DNS-Kette in einer Doppelhelix kann, wenn sie teilweise und zeitweilig von ihrem Partner getrennt ist, durch denselben „Gummistempel", dieselbe Schablone oder denselben Prozeß eine einfache RNS-Kette mit Stickstoffbasen bilden, die in Gruppen von jeweils drei (Tripletts) nach einer bestimmten Reihenfolge angeordnet sind. Die *Tripletts* der RNS-Kette sind nämlich Anweisungen dafür, Aminosäuren in einer festgelegten Reihenfolge zu synthetisieren, derart daß sie ein bestimmtes Protein bilden. Die Entsprechung zwischen einer bestimmten Sequenz von drei Stickstoffbasen (Triplett) und einer bestimmten Aminosäure nennen wir den *Code* dieser Sequenz.

Wenn das DNS-Molekül das RNS-Molekül „druckt", kann es dadurch Anweisungen für die Herstellung eines Proteins weitergeben. Wenn sich ein DNS-Molekül verdoppelt, vermehrt es sich also nicht nur, sondern

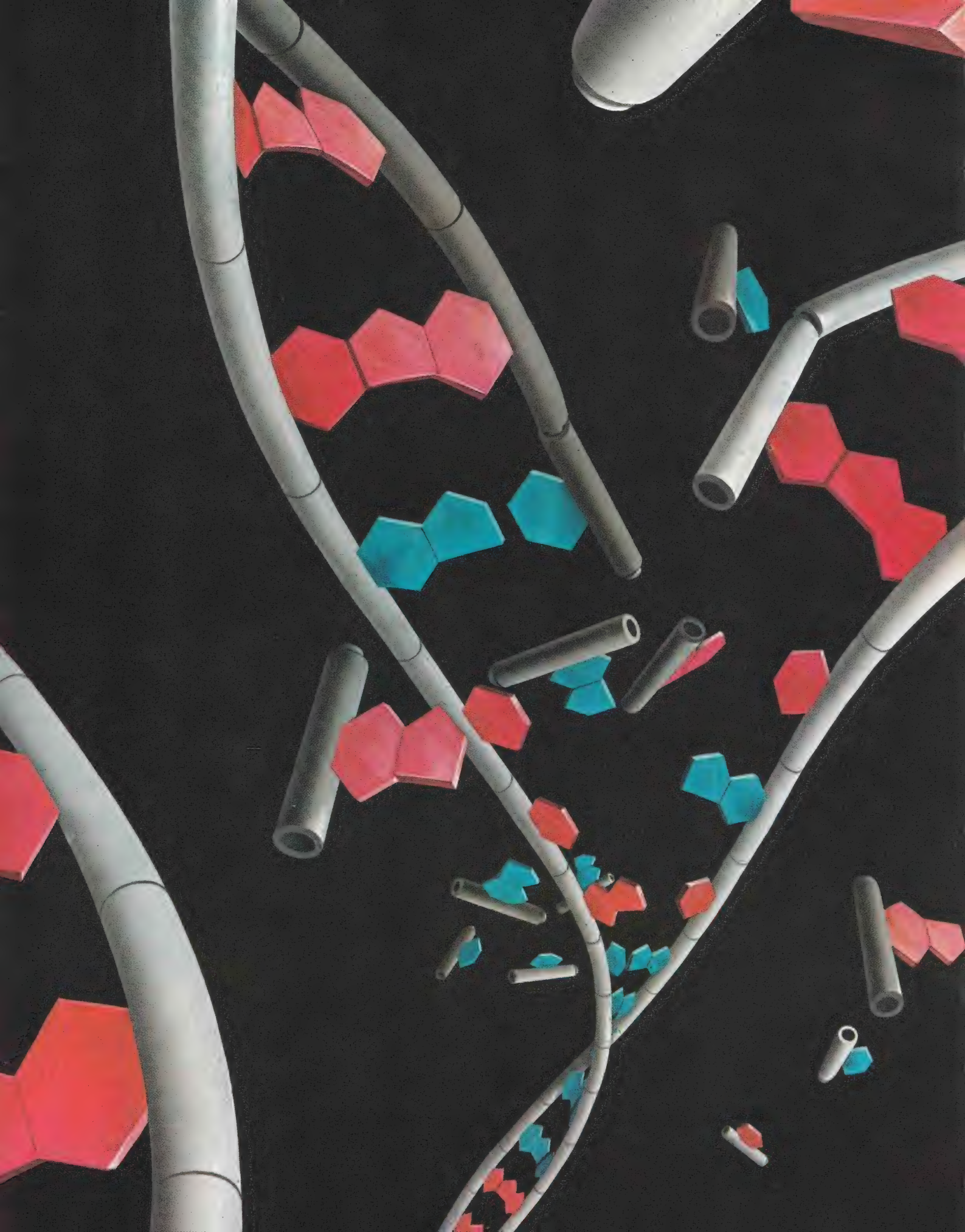


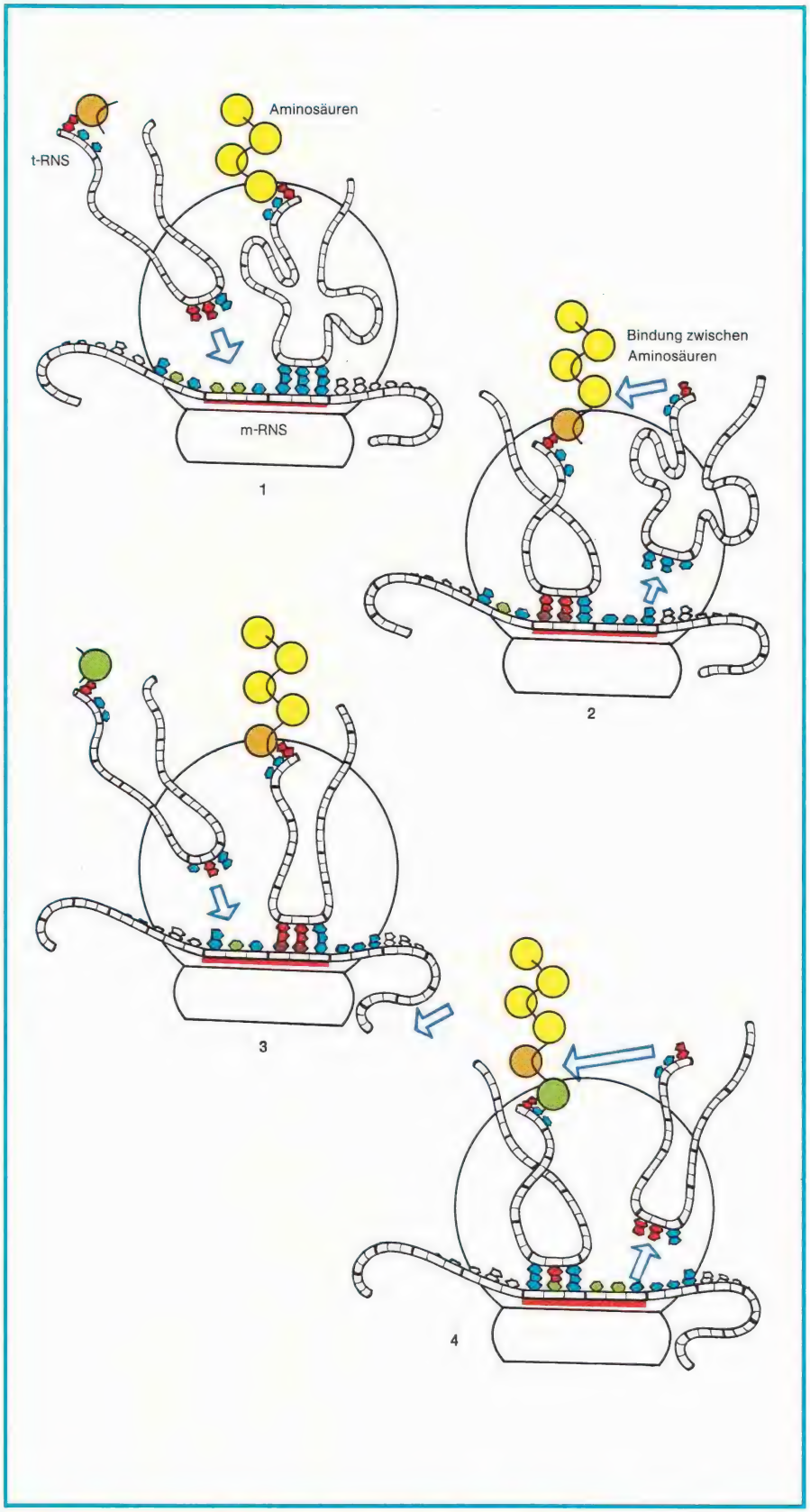
Die vier Stickstoffbasen oder Nukleotidbasen, die einen großen Teil der DNS ausmachen, jeweils immer zwei miteinander verbunden: Guanin (orange ummantelt), verbunden mit Cytosin (gelb ummantelt); Adenin (rosa ummantelt), verbunden mit Thymin (blau ummantelt). Eine Base mit einem sechseckigen Kern verbindet sich mit einer Base, die einen doppelten Polygonkern hat. Eine Base, für die eine Kohlenstoff-Sauerstoff-Gruppe typisch ist, verbindet sich mit einer Base, für die die Wasserstoff-Stickstoff-Gruppe typisch ist.



Oben: Darstellung der Doppelhelix der DNS, um eine Idealachse gewunden.

Rechts: DNS-Moleküle in den Anfangsphasen des Verdopplungsprozesses. Es wird gezeigt, wie sich einzelne Stränge der typischen Doppelhelixstruktur trennen. Dies ist einer der wichtigsten Augenblicke im Leben, wenn die Geburt eines neuen Wesens vorbereitet wird, das dem Elternteil ähnelt.




Aminosäuren
t-RNS
m-RNS
1
Bindung zwischen
Aminosäuren
2
3
4

reproduziert auch ein System zur Erzeugung von Protein. Dieses doppelte Merkmal des DNS-Moleküls macht es zum „wahren Lebensmolekül". Dennoch „lebt" dieses Lebensmolekül nicht; es ist nicht in der Lage, sich selbst Energie zu verschaffen oder chemische Reaktionen in Gang zu setzen. Daher ist das ursprüngliche Verhältnis zwischen Protein und DNS ein Rätsel. Wir können uns nur vorstellen, daß irgendein Protein, das aktiver und stabiler als andere war, unter den vielen, vielen Proteinen überlebte, die in Übereinstimmung mit dem Gesetz von Zeit und Zufall gebildet wurden. Dennoch konnten ihm die Merkmale, die ihm beim Überleben halfen, nicht bei der Vermehrung helfen, da sich eben Protein nicht selbst vermehrt. Wir müssen also von der Annahme ausgehen, daß die entscheidende Schwelle der *chemischen Evolution,* die der biologischen Evolution vorausging, nur von denjenigen DNS-Molekülen überschritten wurde, die ein doppeltes Merkmal aufwiesen: die Eigenschaft, stabiler als andere DNS-Moleküle gewesen zu sein und daß sie Proteine hervorbringen konnten, die stabiler waren als die von anderen DNS-Molekülen erzeugten. Genau wie Herodot vor mehr als 2000 Jahren gesagt hatte: „Alles kann geschehen, vorausgesetzt, es ist genügend Zeit dafür da."

Wenn wir das Gesetz von Zeit und Zufall auch auf das Problem der chemischen Evolution anwenden, können wir vielleicht das Verhältnis besser verstehen, das zwischen verschiedenen Lebensmolekülen in ihrer Auswirkung auf Organismen (insbesondere tierische Organismen) herrscht. Bedienen wir uns hier einiger Vergleiche und denken uns eine kleine Fabel aus.

Linke Seite: In der linken Abbildung teilt sich ein DNS-Molekül selbst, symbolisiert durch eine Kette automatischer „Druckknöpfe". Auf der rechten Abbildung wird die Herstellung von Proteinen (Aminosäureketten) gezeigt; sie läßt sich mit einem Fließbandverfahren vergleichen: t-RNS (Träger-RNS) nimmt eine Aminosäure auf und fügt sich mit einem Triplett zu einem komplementären RNS-Triplett des Ribosoms oder der m-RNS (Boten-RNS) zusammen (1). Ihre Aminosäure verbindet sich mit der Aminosäurekette, die in der Entstehung begriffen ist (2). Auf diese Weise wird die vorhergehende t-RNS freigesetzt; sie kann sich entfernen und eine weitere Aminosäure aufnehmen (3). Schließlich wird die Aminosäure mit der Kette verbunden (4). Die Aufeinanderfolge der Tripletts an der Boten-RNS bestimmt, in welcher Reihenfolge die Aminosäuren, die durch Träger-RNS herangebracht werden, entsprechend dem Ergänzungscharakter ihrer Tripletts angeordnet werden sollen. Auf diese Weise wird der Proteintyp bestimmt, der hergestellt werden soll.

Die Fabel vom verrückten Händler und von dem Mann, der einen Ofen brauchte

Es war einmal ein Mann, der in einer unbeheizten Hütte lebte. Er wußte, daß ein Händler, der in einer entfernten Stadt lebte, das Material zum Bau von Öfen und viele andere Haushaltsartikel verkaufte. In dieser Fabel lassen sich die Materialien, die nötig sind, um einen Ofen zu bauen (Eisenblech für den äußeren Mantel, hitzebeständiger Schamott für den inneren, Röhren, Zugregler und Aschenroste), mit den Proteinen vergleichen. Die Anleitung, nach der man mit diesem Material einen Ofen bauen kann, entspricht der DNS. Der rasch verbrennende Brennstoff (Holz) läßt sich mit Zucker vergleichen, der langsam brennende (Kohle) mit Stärken und Fetten.

Der Mann schrieb dem Händler und gab eine vollständige Bestellung auf für das gesamte Material, um einen Ofen zu bauen, für die Bauanleitung und für beide Arten von Brennstoff. Er wußte nicht, daß der Händler verrückt war. Der Händler war in der Tat so verrückt, daß er jedesmal, wenn er einen Auftrag erhielt, in sein Lager ging, nach dem Zufall Teile und Bauanleitungen zusammenwarf und sie in eine Kiste stopfte. Der Mann auf dem Berg erhielt eine Kiste mit Teilen für ein Kinderdreirad und die Anleitung zum Zusammensetzen eines Radios. Der Kunde füllte ein anderes Bestellformular aus und erhielt diesmal Teile für ein Fernsehgerät und die Bauanleitung für eine Nähmaschine. Er füllte einen dritten Auftrag aus; diesmal erhielt er ein Stück Stoff und die Bauanleitung für einen Kühlschrank. Ein weniger Hartnäckiger hätte aufgegeben und sich nach einem anderen Lieferanten umgesehen. Unser Mann jedoch hatte Herodot gelesen und war mit dem *Gesetz von Zeit und Zufall* vertraut. Er wußte, daß der Händler aus purem Zufall in seinem Lager genau die Teile für den Zusammenbau eines Ofens und die

Ein kleines Mädchen spielt mit farbigen Bauklötzen und baut damit das Muster, für das sie entworfen sind. Wie aber könnte sie das Muster herausfinden, wenn ihr ein verrückter Ladenbesitzer anstatt der Plastikbauklötze ein Flugzeugmodell verkauft hätte?

geeignete Anleitung dazu zusammenstellen könnte, da ein derartiges Ereignis immerhin *möglich* war. Nach Herodot mußte er dem Händler lediglich Zeit lassen – natürlich nicht dafür, wieder geistig gesund zu werden, sondern aus purem Zufall das Richtige zu tun. Unser Mann wartete und wurde für seine Geduld belohnt. Eines schönen Tages wurden die Ofenrohre, der Schamott, die Zugregler, der Außenmantel, die Roste, das Holz, die Kohle und die richtige Bauanleitung an ihn ausgeliefert.

Alle anderen zähneklappernden Kunden dieses verrückten Händlers erhielten weder die Bauanleitung noch die bestellten Materialien, und sie froren sich zu Tode. Doch dieser eine hartnäckige und vom Glück begünstigte Kunde konnte seine Hütte heizen, und seine Kinderchen wuchsen munter und gesund heran. Als der älteste Sohn beschloß, sich eine eigene Hütte zu bauen, gab ihm sein Vater eine Fotokopie der Bauanleitung und sagte dazu: „Geh und kauf dir die auf diesem Papier aufgeführten Baumaterialien und verwende sie wie beschrieben, und auch du wirst in der Lage sein, dein Haus warm zu halten!"

Dieses kleine Blättchen mit der Bauanleitung – analog zur DNS – hatte also zweierlei bewirkt: Es hatte dem Vater beim Bau des ersten Ofens geholfen, und es machte es durch Duplikate möglich, daß andere Menschen die gleichen Öfen bauen konnten. Daß jedoch das ursprüngliche Anleitungsblatt zu den Baumaterialien paßte und daß die Baumaterialien den Bedürfnissen des Kunden entsprachen, war reiner Zufall. Dieser Zufall war jedoch eingetreten, und das kostbare Wissen darum, wie ein Ofen gebaut wird, wurde vom Vater auf den Sohn von Generation zu Generation in der Familie dieses Kunden weitergegeben.

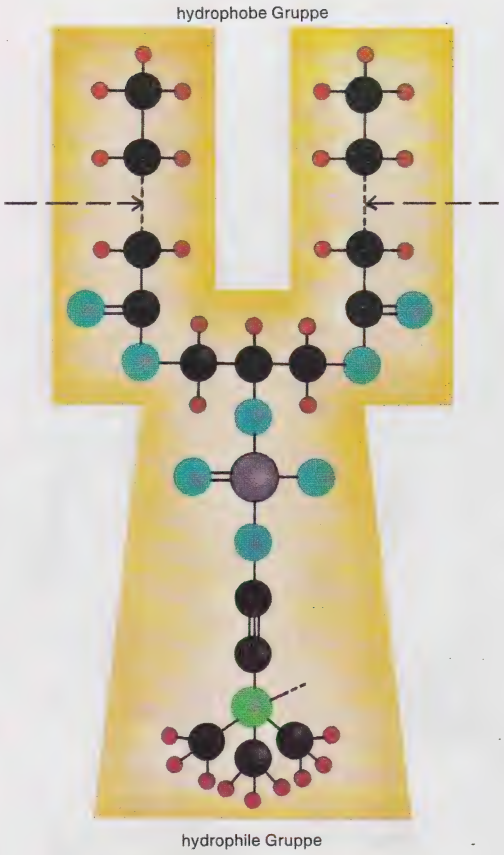
Von der Molekülkette zum Lebewesen

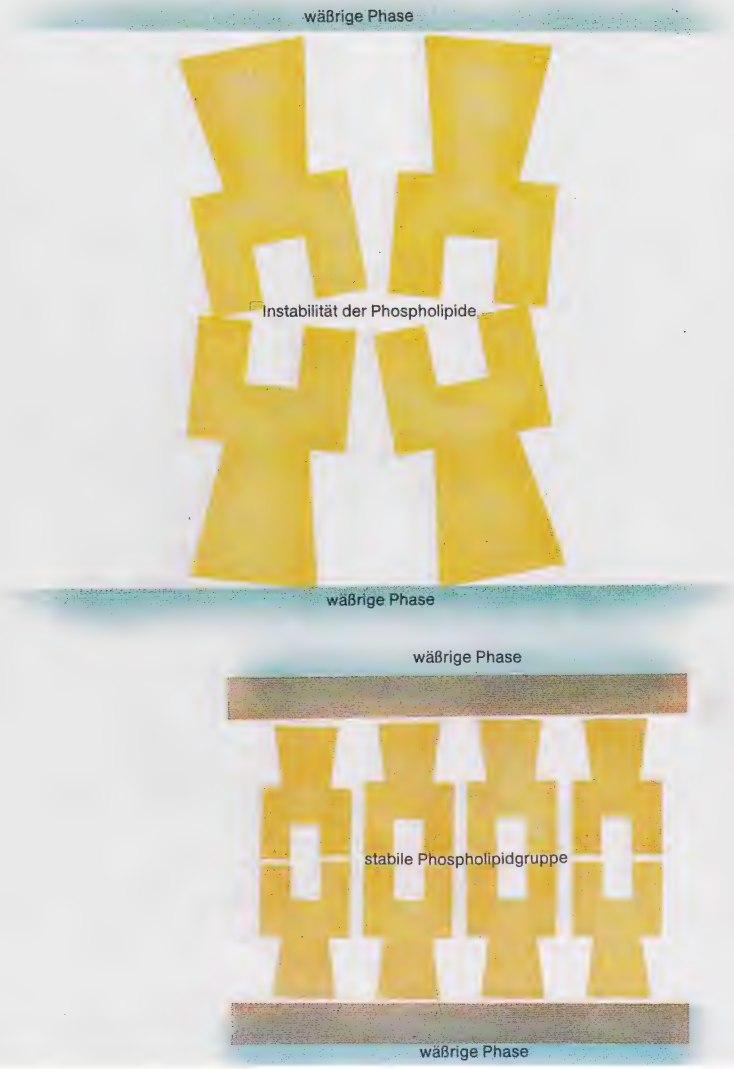
Der gemeinsame Vorfahr

Kehren wir zur Ursuppe zurück, in der sich die organischen Moleküle zu Ketten ordneten und neue Beziehungen untereinander eingingen, wie zum Beispiel die Beziehung zwischen Nukleinsäuren und Proteinen. Es handelte sich um Beziehungen, in die eine bestimmte „Ordnung" eingebaut war, nämlich die Ordnung der DNS-Tripletts. Mit dem britischen Physiker J. D. Bernal (1901–1971) könnten wir sagen, daß das Leben in diesem Stadium entstanden ist, soweit Leben eine „bestimmte Ordnung" ist und die biologische Ordnung auch Vermehrung bedeutet.

Wenn wir diese Definition des Lebens anerkennen, gelangen wir zu der merkwürdig eindrucksvollen Schlußfolgerung, daß das Leben auf der Erdoberfläche nicht in einer Anzahl unterschiedlicher und gesonderter Formen auftrat, sondern als eine einzige Einheit, die überall ohne definierte Grenzen verbreitet war. Es war ein undefiniertes „Lebewesen", das da zuerst in hochkonzentrierten Pfützen längs der Meeresstrände Form annahm und dann in einem bestimmten Augenblick anfing, sich in einer zunehmend größeren Meeresumwelt auszudifferenzieren. Wir können uns vorstellen, wie die anfangs strukturlose Substanz allmählich Gestalt und Eigentümlichkeit annahm und sich der einzelne Körper aus seiner Umwelt herauszulösen begann. Nach dieser Interpretation entstand also das Leben v o r den Lebewesen als solchen; erst dann kamen die kleinsten und primitivsten Organismen zur Welt, und zwar dadurch, daß sich dieser erste, unbestimmte „Vorfahr" teilte und weiterentwickelte.

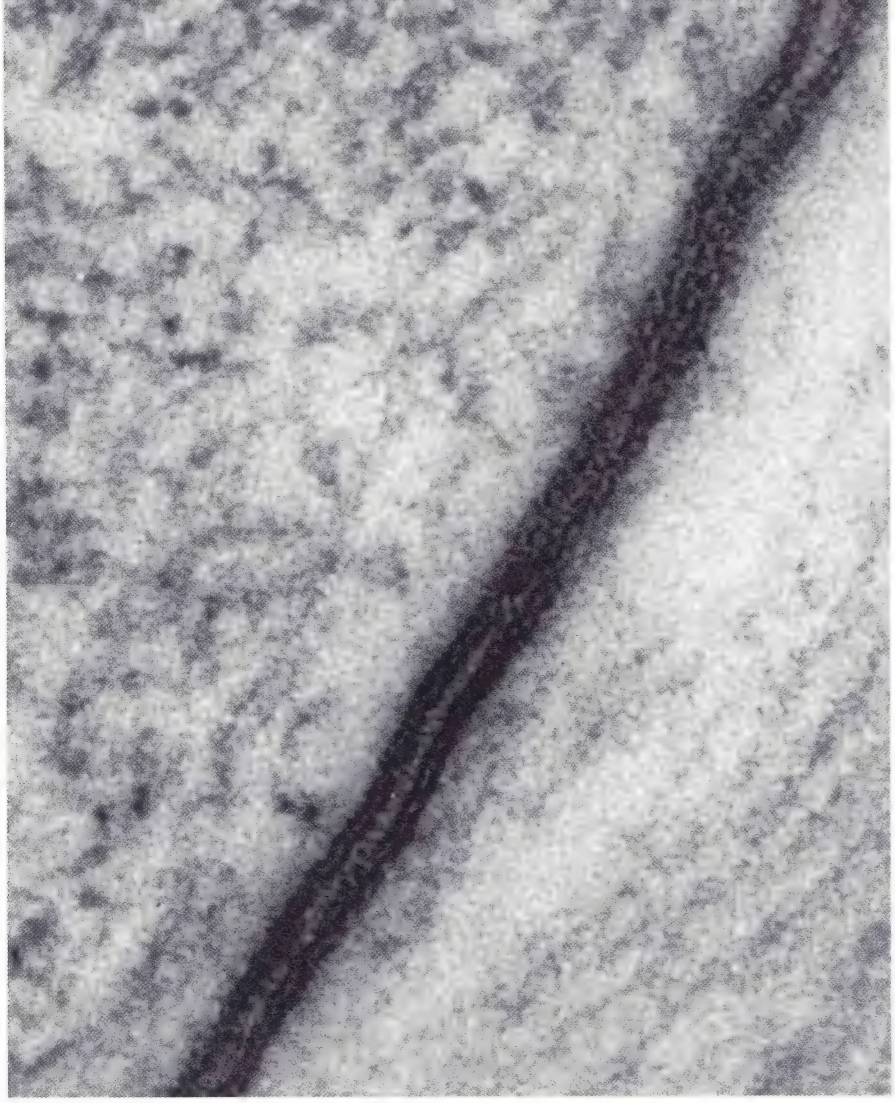
Nach anderen Interpretationen gibt es kein Leben außer in räumlich geschlossenen Systemen. Demnach war auf dem Weg zum Leben noch eine weitere Phase der nichtbelebten Materie zu überwinden: die Unterteilung dieses dicken, zähflüssigen Gemischs in Abertausende von einzelnen Tröpfchen, die *Koazervate* genannt werden. Gleichviel, ob diese Unterteilung in einzelne abgeschlossene Gebilde nun als eine der allerersten Phasen des Lebens oder als eine der Endphasen in der Entwicklung zum Leben angesehen wird, scheint es doch gewiß zu sein, daß die Lipide dadurch eine sehr bedeutsame Rolle spielten, daß sie sich mit Phosphor verbanden und Phospholipide bildeten.





Phospholipid, das Molekül, das liebt und haßt

Phospholipide sind insofern recht seltsam, als eines ihrer Enden das Wasser „liebt", d. h. anzieht (hydrophil ist), während das andere Ende das Wasser „haßt", d.h. abstößt (hydrophob ist). Außerdem ordnen sie sich leicht zu „Lamellen", wobei sich alle hydrophoben Gruppen an der einen Außenfläche und alle hydrophilen Gruppen an der anderen Außenfläche der Membran zusammenfinden, die durch den Zusammenschluß derartiger Moleküle gebildet wird. Infolge ihrer Reaktion auf das Wasser müssen die Phospholipidmembranen auf der Meeresoberfläche geschwommen sein, wobei ihr wasserabweisender Teil der Atmosphäre zugekehrt war. Wenn es jedoch tatsächlich solch primitive Membranen dieses Typs auf der Meeresoberfläche gegeben hat, sind sie schon lange durch die Einwirkung der ultravioletten Strahlen verändert worden und verschwunden. Die *Phospholipidmembranen* entwickelten sich jedoch mit Hilfe einer physikalischen List weiter. Dadurch, daß sie sich eng, Kopf an Kopf, aneinanderschlossen, gerieten die hydrophoben Gruppen schließlich auf die innere Seite (wo sie vor der Berührung mit Wasser sicher waren), und die hydrophilen Gruppen besetzten die Außenseite (die ins Wasser getaucht war). Auf diese Art und Weise konnten die Membranen im Wasser schweben, und schon ein paar Kubikzentimeter Wasser reichten aus, um sie vor der Einwirkung der ultravioletten Strahlen zu schützen.



Linke Seite: Ein Phospholipidmolekül stößt das Wasser am einen Ende ab (hydrophobe Gruppe) und zieht es am anderen Ende an (hydrophile Gruppe). Phospholipidmoleküle ordnen sich im Wasser so an, daß alle hydrophilen Gruppen in das Wasser hineinragen und alle hydrophoben Gruppen sich dagegen abkapseln (oben). Die Anordnung der Moleküle in zwei Schichten, wobei ihre jeweiligen hydrophoben Gruppen innen liegen und damit vor dem Wasser geschützt sind, erzeugt einen stabilen Film oder eine Membran (unten).

Fotografie einer Zellmembran unter dem Elektronenmikroskop, 100 000fach vergrößert.

Außer dieser „raffinierten" doppelten Schichtung wiesen die Phospholipidmembranen zwei weitere Merkmale auf, die ihnen eine Schlüsselrolle dieser neuen Phase auf dem Weg zum Leben zuwiesen: Ihre äußeren, hydrophilen Oberflächen zogen auch Eiweißstoffe an und bedeckten sich mit einer Eiweißschicht. Außerdem neigten sie dazu, sich „einzurollen", insbesondere dann, wenn sie geschüttelt wurden. Der Wind, der die Meeresoberfläche kräuselte, schlug die Phospholipide zu Schaum, wie wir das mit Eischnee tun, und die Membranen reagierten, indem sie sich „einrollten", wobei sie sowohl Wasser als auch Eiweißstoffe einschlossen. Man glaubt, daß auf diese Art und Weise die Unterteilung in einzelne Tröpfchen erfolgte. Dieser Schluß basiert nicht nur auf den Ergebnissen von Laborexperimenten, sondern auch auf der Beobachtung, daß die Membran, die lebende Zellen umhüllt, eine doppelte Schicht von Phospholipiden mit einer Eiweißhaut innen und außen darstellt. Die Zelle – der einzige Bestandteil der heutigen einzelligen Lebensform und der Baustein für die komplexeren Strukturen mehrzelliger Organismen – scheint sich aus einem Tröpfchen von „Eiweißsuppe" aus dem Urmeer entwickelt zu haben, das von einer Phospholipidmembran eingeschlossen war.

Die Herausbildung dieser von einer Membran umkleideten Tröpfchen erwies sich als entscheidender Wendepunkt. Erstens wurde

Rechte Seite: Leben bedeutet Fortpflanzung. Jeder winzige Fisch in dieser wimmelnden Masse im Roten Meer ist nach einem alten Muster gebaut, mit winzigen Variationen (Mutationen), nach denen die natürliche Zuchtwahl erfolgt.

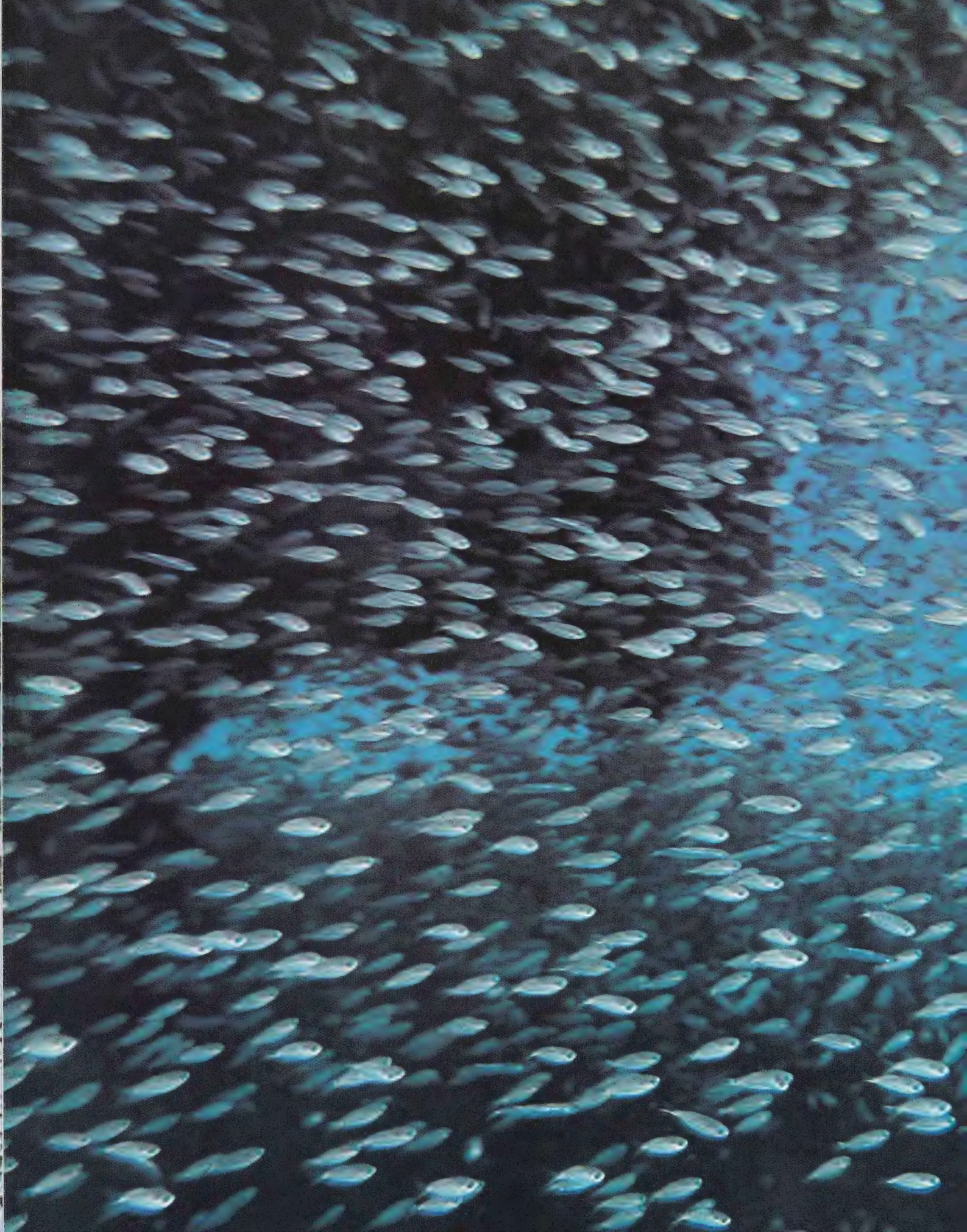
dadurch eine höhere Konzentration von enzymischen Eiweißstoffen innerhalb der Zelle möglich und infolgedessen eine zahlenmäßige Steigerung der chemischen Reaktionen. Zweitens ermöglichte sie eine Konzentration enzymischer Eiweißstoffe an der äußeren Membranoberfläche, zwischen dem Tröpfchen und seiner Umgebung. Die chemischen Reaktionen, die sich an der äußeren Membranoberfläche abspielen, verleihen der Membran „aktive" Eigenschaften: Sie übernimmt die sehr wichtige Rolle, die Austauschprozesse zwischen der Zelle und ihrer Umgebung zu regeln. Die Regelung, welche Moleküle in die Zelle hinein- und welche aus ihr herausgelangen, erfolgt selektiv. Sie erzeugt dabei Verhältnisse im Zellinneren, die sich von der äußeren Umgebung der Zelle unterscheiden. Dies ist typisch für eine lebende Substanz. Wenn wir ein Stück Brot in Salzwasser tauchen, wird es salzig, weil das Mahlen des Mehls und der Backvorgang die Zellmembranen des Korns zerstört haben und das Salz ins Brot eindringen kann. Das Fleisch eines Fisches wiederum ist jedoch ziemlich geschmacksneutral, und wir müssen es salzen, um ihm Geschmack zu geben, auch wenn der Fisch vielleicht jahrelang in salzigen Gewässern gelebt hat; weil die Zellmembranen unversehrt sind, kann das Salz nicht in die Fleischzellen eindringen. Das Blut und die Körperflüssigkeit im lebenden Gewebe hat bei Fischen eine geringere Salzkonzentration als das Wasser, in dem sie herumschwimmen.

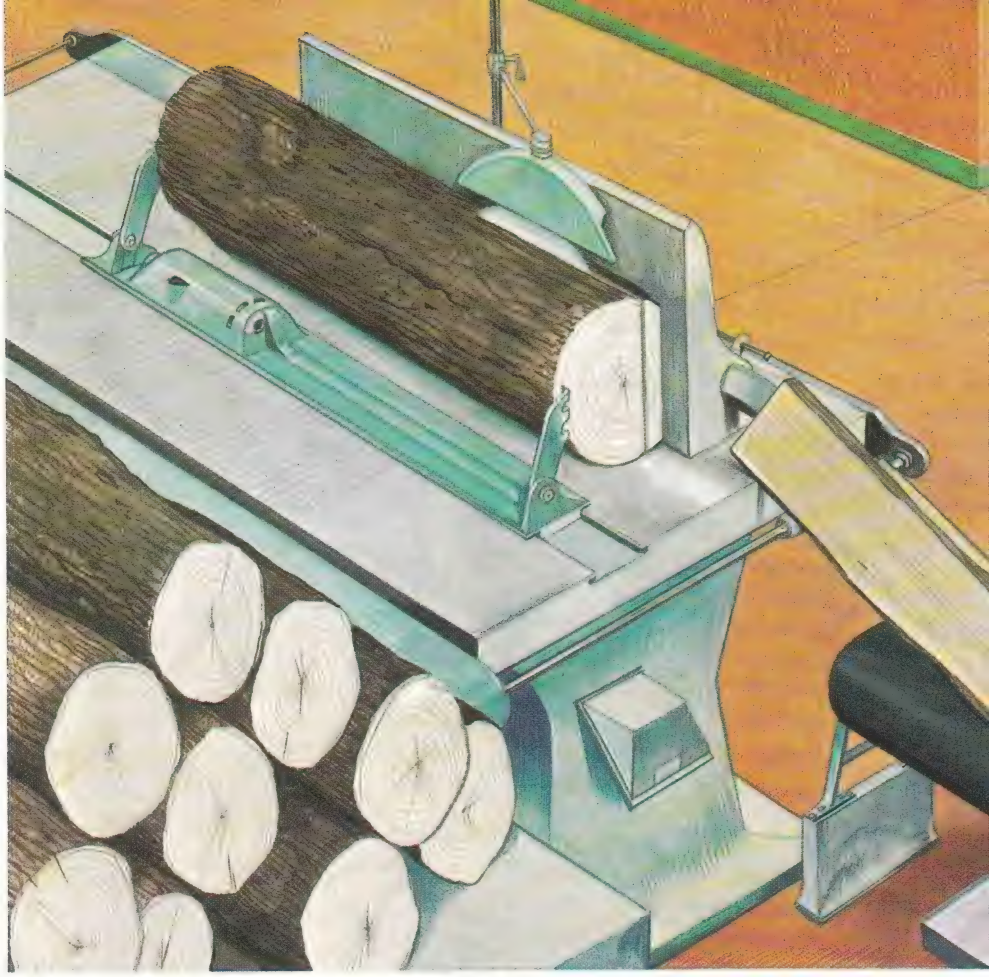
Fortpflanzung bedeutet Ordnung, Leben bedeutet Fortpflanzung

Wenn wir sagen, daß wir nicht wissen, ob diese Tröpfchen von konzentrierten Eiweißstoffen, die von Phospholipidmembranen umhüllt waren, bereits lebendig waren, heißt dies nur, daß wir nicht wissen, ob jene rätselhafte Beziehung zwischen der Ordnung der DNS-Tripletts und der Ordnung der Aminosäuren in Eiweißstoffen vor der Entstehung der Phospholipidmembran oder danach hergestellt worden ist. Wenn die Phospholipidbläschen herausgebildet wurden, bevor die Beziehung, die wir den Code des Lebens nennen, hergestellt war, müssen wir von der Annahme ausgehen, daß lebenstypische chemische Reaktionen in ihnen stattgefunden haben, jedoch „zufällig" und ohne die Möglichkeit der Vermehrung. Das heißt, das Bläschen wäre nicht in der Lage gewesen, sich in mehrere andere Bläschen aufzuteilen, die ihrerseits fähig gewesen wären, ähnliche chemische Reaktionen in ihrem Inneren auszulösen, sich also fortzupflanzen. Solange sich bestimmte chemische Reaktionen (auch die komplexesten) unter Bedingungen abspielen, die eine Fortpflanzung nicht gewährleisten, können wir nicht von „Leben" sprechen, sondern nur von „Zufall".

Das *Leben* läßt sich als eine Ordnung beschreiben, die zwar aus Zufall entstanden ist, sich jedoch „ordnungsgemäß" *fortpflanzt.* Ein Zufall kann zweimal oder mehrmals eintreten, doch können wir nur dann von „Leben" sprechen, wenn Bedingungen gegeben sind, die gewährleisten, daß die Wiederholung dieses Ereignisses nicht zufällig ist. Durch den Akt der Entstehung des Lebens wurde zugleich der Zufallscharakter der Wiederholung beseitigt. Dies ist das Verdienst des DNS-Moleküls.

Wenn sich also diese kleinen Bläschen gebildet haben, nachdem sich der Code des Lebens (die Beziehung zwischen der Anordnung der DNS und der Anordnung der Eiweißstoffe) entwickelt hatte, können wir die Tatsache anerkennen, daß diese kleinen Bläschen lebend in die Welt kamen. In diesem Fall trifft die Hypothese von Bernal zu, daß das Leben

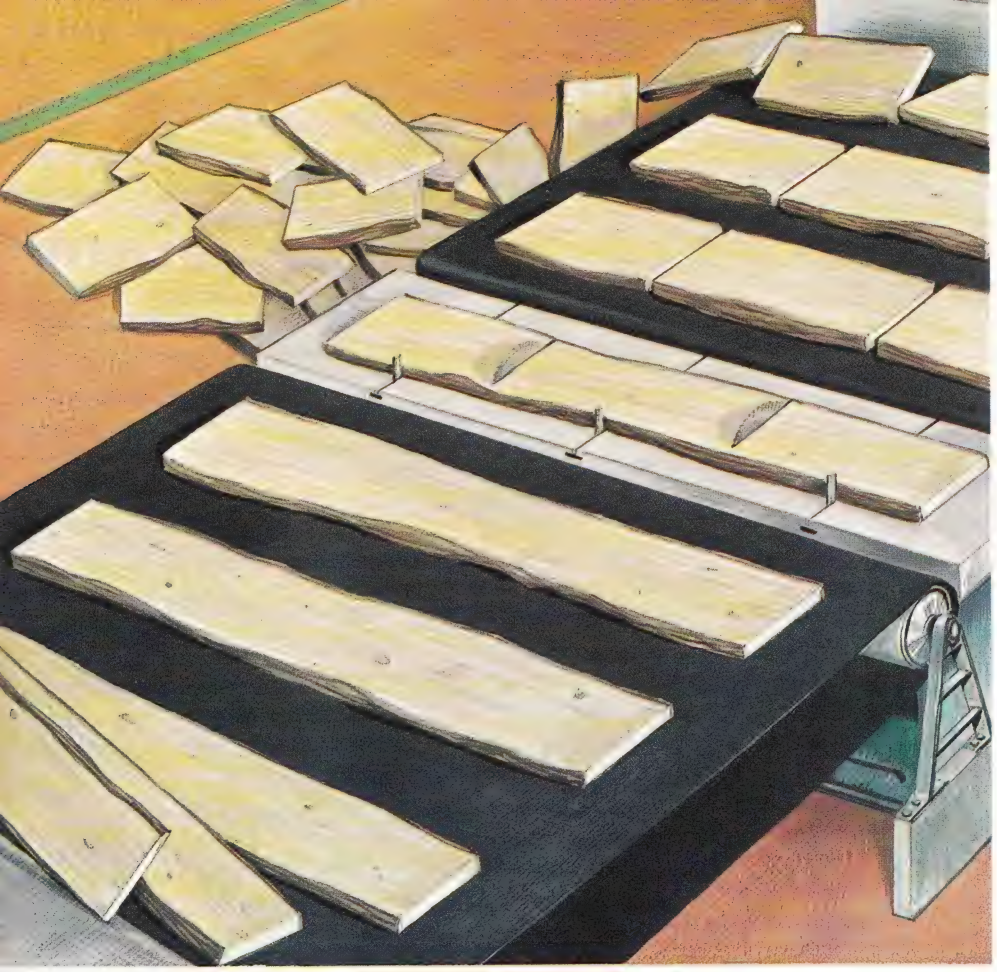




sowohl unbestimmt als auch unbegrenzt war. Dies ist der dunkelste Punkt und der schwierigste Knoten, der bei der logischen und experimentellen Rekonstruktion der Entstehung des Lebens gelöst werden muß, so wie sie bis jetzt von vielen modernen Biologen geschildert wurde.

Nach dieser „dunklen Phase", der einige relativ hellere folgen, haben wir etwas vor uns, das mit Sicherheit „lebt". Das bedeutet, daß es sich um chemische Systeme handelt, die sich vermehren können. Es sind geschlossene Systeme mit einer hohen Enzymkonzentration, die die Produktion von biologischen Polymeren und die Differenzierung zwischen den Verhältnissen innerhalb und außerhalb der Bläschen verstärkt. Die fortschreitende *Spezialisierung von Enzymen* (spezifische Katalysatoren oder Eiweißsubstanzen, von denen jede eine spezifische chemische Reaktion fördert) berührt ein Thema, das noch öfter anklingen wird; manche Ereignisse lassen sich nie wiederholen, wenn sie erst einmal eingetreten sind.

Ein Katalysator – ob er nun organisch ist oder nicht, bloßer Ton ist oder ein Enzym – kann keine unmögliche chemische Reaktion in Gang bringen. Er kann nur eine chemische Reaktion beschleunigen, die ohne ihn nur langsam vonstatten gehen würde. Bei Fehlen jeglichen Enzyms würde die Bildung langer polymerer Ketten oder die Polymerisierung äußerst langsam verlaufen. Mit einem nichtspezifischen anorganischen Katalysator wie kleinen Tonpartikeln verläuft die Reaktion geringfügig schneller. Besonders rasch verläuft sie jedoch mit einem spezifischen organischen Katalysator – mit einem Polymerisierungsenzym (Polyme-



Jedes Enzym führt an einem Molekül eine elementare Operation aus (zum Beispiel Oxydation oder Desoxydation). Nur eine Kombination von Enzymen, die aufeinanderfolgende einfache Operationen durchführen, kann eine komplexe Reaktion bewirken. In ähnlicher Weise erfordert das Umwandeln eines zylindrischen Holzstamms in dünne, rechtwinklige Blöcke eine Reihe von einfachen Operationen. Die Säge muß zuerst den Stamm in dünne Bretter schneiden und dann diese Bretter in kurze Stücke.

rase). Es gibt so viele *Polymerasen,* wie es Typen von Reaktionen gibt, die zur Erzeugung eines bestimmten Polymers erforderlich sind. Doch stellen wir die Theorie auf, daß in der Natur, wenn sich erst einmal ein bestimmtes Polymerisierungsenzym gebildet hat, die jeweilige Polymerisierung, für die es als Katalysator wirkt, dann nicht auftreten kann, wenn es fehlt, ganz gleich, ob nun unspezifische Katalysatoren wie Tonpartikel vorhanden sind oder nicht. Dieses Gesetz ist dann am strengsten gültig, wenn die Wirksamkeit des Enzyms am größten ist, d. h., wenn die Reaktion mit Hilfe des Enzyms so rasch verläuft, wie sie andererseits bei Fehlen des Enzyms langsam wäre. Warum ist das so? Wiederum können wir eine Hypothese erfinden.

Stellen wir uns einmal vor, daß eine Tasse voll Aminosäurebrühe in eine Schlammpfütze geleert wird. Ohne einen Katalysator würde es ein Jahr dauern, bis die Polymerisierung zu einer Eiweißkette eintreten würde. Stellen wir uns nun vor, daß ein Hund herbeikommt und von der Brühe trinkt. Innerhalb einer sehr kurzen Zeit dürften sich die in dem Hund vorhandenen sehr wirksamen Polymerasen über diese Aminosäuren hermachen und sie zu Myoglobin, dem Eiweiß der Muskelfasern, polymerisieren. Auch Fliegen z. B. oder Bodenbakterien könnten mit ihrer Polymerase diese Brühe verwandeln. In der Natur hat die Brühe deshalb nur sehr geringe Chancen, ihre „langsame" Polymerisierung zu erleben. Wir müßten unsere Tasse Brühe ins Labor bringen, sie in eine sterilisierte Flasche gießen und diese so versiegeln, daß die Brühe nicht mit den in der Luft schwebenden Mikroorganismen (die auch mit Polymerasen ausgestattet sind) verseucht werden kann.

Wenn die notwendigen Polymerasen erst einmal alle vorhanden sind und funktionieren, ist eine spontane oder eine durch einen unspezifischen, anorganischen Katalysator bewirkte Polymerisierung nicht mehr möglich, wie sie das noch auf einer Welt war, die das Leben noch nicht kannte. Aus diesem Grund (und auch aus anderen Gründen, wie wir noch sehen werden) kann die spontane Erzeugung von Leben, wie sie einmal erfolgt ist, sich nicht noch einmal ereignen.

Sehr häufig ist das Enzym ein Mittel zur Verstärkung der Reaktionsfähigkeit eines nichtbiologischen Katalysators, gewöhnlich eines Metalls. Im Verlauf der Evolution hat sich das Leben höchst unterschiedliche Metalle zunutze gemacht. Dies läßt sich an Fossilien nachweisen und vor allem an den chemischen Abläufen in bestimmten primitiven, jedoch immer noch vorhandenen Organismen, die ihre ursprünglichen chemischen Prozesse bewahrt haben. Die Tunikaten (Manteltiere) z. B. sind die einzigen Organismen, die statt des Eisens Vanadium aufnehmen. Vielleicht ist der Einsatz von Vanadium ein Zeichen von biologischer Geschmacksverirrung; denn jedes Lebewesen, das von einem so seltenen Metall wie Vanadium abhängig ist, kann zwangsläufig nur mit Mühe sein Leben fristen. Viel praktischer ist es, Eisen in sich aufzunehmen, wie das heute die meisten Tiere tun, weil Eisen überall vorgefunden wird. Indem es seine Auswahl einschränkte, konzentrierte sich das Leben auf diejenigen Elemente, die reichlich vorhanden waren.

Oben: Die Manteltiere, kleine Meerestierchen, die meist an einem Ort sitzenbleiben. Sie weisen einige eigenartige Merkmale auf. Erstens umgeben sie sich mit einer Hülle von Zellulose, einer Substanz, die gewöhnlich von Pflanzen und nicht von Tieren erzeugt wird; zweitens nehmen ihre Blutzellen Sauerstoff durch ein Enzym auf, das anstelle des Eisens Vanadium enthält. Die abgebildete Tunikatenart ist Ascidia virginea.

Linke Seite: Ein seltenes Exemplar eines albinotischen Gorillas. Der Albinismus ist eine Anomalie, die durch das Fehlen bestimmter Enzyme bewirkt wird.

Das Rätsel der Enzyme

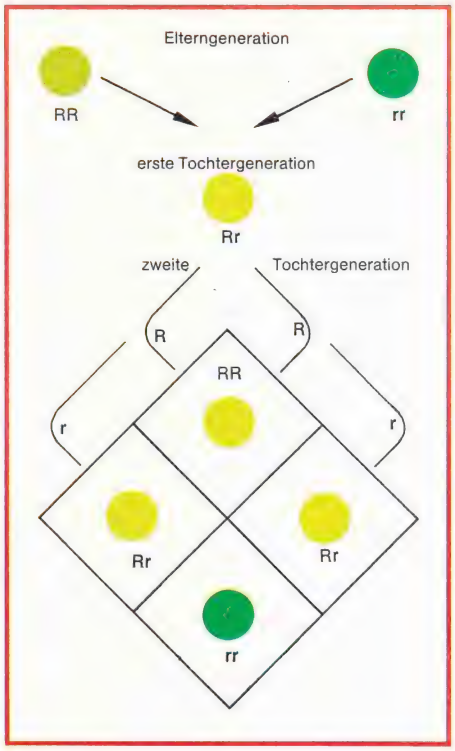
Woher die *Enzyme* kommen, ist ein wissenschaftliches Rätsel. Das Leben wird von Enzymen gestützt, es bringt sie aber auch zugleich hervor. Was also war zuerst da – das Leben oder die Enzyme? Selbst die DNS wird mit Hilfe eines Enzyms, der DNS-Polymerase gebildet. Doch wird dieses Enzym wie alle anderen nach einer Formel produziert, die in der DNS enthalten ist. War also die DNS zuerst da, die das Enzym erzeugt, oder das für die DNS-Entstehung unerläßliche Enzym?

Dieses Problem erinnert uns an die einfachere Frage, wie die erste Zange gemacht wurde. Die Antwort darauf ist ähnlich. Wie kann man eine Zange herstellen? Dazu muß man einen Eisenstab erhitzen und ihn auf dem Amboß mit dem Hammer formen. Wie aber will man diesen Eisenstab halten? Mit einer Zange natürlich. Wie hat das der Schmied bewerkstelligt, der die erste Zange herstellte? Offensichtlich hat er sich irgendwie geholfen. Vielleicht hat er die Eisenstange in einen gespaltenen Ast gesteckt. Sehr gut hat das nicht gehalten, daher war die erste Zange vielleicht alles andere als ein Meisterstück. Doch erfüllte diese plumpe Zange den Zweck besser als der Ast, und damit konnte der Schmied schon eine etwas bessere Zange herstellen und so weiter und so weiter.

Ähnlich könnte dies auch bei der Entstehung der Enzyme abgelaufen sein. Doch müssen wir uns fragen, wie die späteren „Verbesserungen" erreicht worden sind. Daher führen wir nun zum ersten Mal die Begriffe der Selektion (biologische Auslese) und der Mutation ein, Mechanismen, die die biologische Evolution möglich machen.

Unten: Die Darstellung von Gregor Mendels ersten Experimenten zur Vererbung. Die Kreuzung zwischen dunkelgrünen und hellgrünen Erbsen ergibt in der ersten Generation nur hellgrüne Erbsen, weil die Allele oder Gene R (die Träger der hellgrünen Farbe sind) gegenüber den anderen Genen r (die Träger der dunkelgrünen Farbe sind) dominant sind. In der zweiten Generation sind jedoch drei Viertel der Erbsen hellgrün, und das letzte Viertel ist dunkelgrün.

Mutation und Selektion



Auch hier spielt der Zufall eine Rolle. Durch Zufall (vielleicht durch die Einwirkung von ultravioletten Strahlen, Gammastrahlen oder chemischen Substanzen) wird ein DNS-Triplett verändert; z.B. wird eine Stickstoffbase durch eine andere ersetzt. Der „Fehler" wird an das DNS-Molekül weitergegeben, das sich übereinstimmend mit der falschen Anleitung an die Arbeit macht und sich anstatt der einen Aminosäure die andere greift. In den meisten Fällen führt ein derartiger „Abschreibfehler" dazu, daß ein Enzym entsteht, das weniger leistungsfähig als das ursprüngliche ist. Das kleine Bläschen voll Lebenssubstanz (das wir inzwischen ruhig als Zelle bezeichnen dürfen), in dem der Fehler passierte, dürfte dann ohne Nachkommen zugrunde gehen, da es in der Konkurrenz mit anderen, normalen Zellen nicht zum Zuge kommt. Aber irgendwann wird durch Zufall auch einmal ein noch aktiveres (leistungsfähigeres) Enzym gebildet. Wenn dies eintritt, hat die mutierte oder „veränderte" Zelle den Nutzen von diesem Fehler; auch ihre Nachkommen profitieren davon, und sie sind gegenüber normalen Zellen in einem gewissen Vorteil. Weil sie diesen Vorteil gegenüber normalen Zellen haben, haben sie eine größere Chance, zu überleben und sich zu vermehren. Allmählich verdrängen die mutierten Zellen die nichtmutierten und werden durch ihre bloße Überzahl zu „normalen" Zellen.

Die rätselhafte DNS ist nicht nur der Held bei der Vermehrung, bei der die Erbmerkmale erhalten bleiben, sondern auch bei den zufälligen *Mutationen,* von denen einige weitergegeben werden, weil sie Vorteile beim Überleben bieten (auch hier wird etwas bewahrt, was sich zufällig ergeben hat, doch ist dies wiederum ganz und gar nicht zufällig).

Inzwischen erkennt die moderne Biologie als Lehrsatz an, daß Mutationen dem Zufall anheimgestellt sind oder, noch genauer, das

Durch Auswahl „mutierter" Exemplare und durch bewußte Kreuzungszüchtung ist es der Kunst der Gärtner gelungen, verschiedenfarbige Rosen von außergewöhnlicher Schönheit zu züchten.

Werk von Mechanismen sind, bei denen die Ursache absolut nichts mit der Wirkung zu tun hat.

Maßgefertigte Enzyme

Die Ergebnisse von Enzymuntersuchungen bei Bakterien haben große Verwunderung ausgelöst. In Laborversuchen wurde beobachtet, daß Bakterien, die über ein Enzym für einen bestimmten Zucker in der Nährlösung verfügen, dieses Enzym nicht mehr produzieren, wenn der bestimmte Zucker in der Nährlösung durch einen anderen Zucker ersetzt wird. Für diese Anpassung gibt es eine Erklärung: Wenn das Arbeitsmaterial (der bestimmte Zucker) fehlt, wird die Produktion des Enzyms, das darauf einwirken soll, gehemmt. Wenn wir dann weiter feststellen, daß das Hinzufügen eines anderen Zuckertyps zur Nährlösung die Herausbildung eines neuen Enzymtyps bei dem Bakterium auslöst, müssen wir annehmen, daß das betreffende Bakterium in seiner DNS die Daten

gespeichert hat, die für die Produktion beider Enzyme (die wir mit A und B bezeichnen wollen) notwendig sind. Wenn der Zucker A vorhanden ist und der Zucker B nicht, wird die Produktion des Enzyms B gehemmt; wenn aber der Zucker A entfernt und durch den Zucker B ersetzt wird, wird die Produktion des Enzyms A gehemmt, während die Produktion des Enzyms B nicht mehr gehemmt ist. Die für beide Typen notwendige „Bauanleitung" war also von Anfang an vorhanden.

Das Problem wird komplizierter, wenn wir beobachten, daß ein Enzym zur Auflösung einer künstlichen Substanz produziert wird. Die Zelle kann in diesem Falle in ihrer DNS nicht die Anweisungen für die Produktion des Enzyms gespeichert haben, welches auf diese Substanz einwirken kann. Ein gutes Beispiel dafür ist die Art und Weise, wie Bakterien bestimmte antibakterielle Arzneimittel außer Gefecht setzen. Um dies zu erklären, dürfen wir annehmen, daß bei Berührung mit dem

Arzneimittel eine zufällige Mutation eintritt, durch die das Bakterium seine Fähigkeit erhält, das Arzneimittel unschädlich zu machen. Da es nicht allzuviele antibakterielle Arzneimittel gibt, ist die Hypothese durchaus zulässig, daß das Vorhandensein eines neuen Arzneimittels mit der „Einprägung" neuer Anweisungen in die DNS des Bakteriums zufällig zusammengefallen ist.

In den Anfängen des Lebens jedoch wurde eine unendliche Vielzahl von Enzymarten für jede Substanz gebildet, die damals in Entstehung begriffen oder bereits vorhanden war, und zwar für jede einzelne chemische Reaktion, der diese Substanzen ausgesetzt waren. Nun müssen aber so viele zufällige Ereignisse zur Erklärung der Enzymneubildung bemüht werden, daß viele Wissenschaftler nicht glauben wollen, daß das Gesetz von Zeit und Zufall herangezogen werden kann. Statt dessen vertreten sie die Meinung, daß sich der Mechanismus der

Giraffen in einem Nationalpark von Tansania. Warum haben diese Tiere so lange Hälse? Die modernen Evolutionstheoretiker sind mit Darwin der Ansicht, daß sich durch zufällige Mutationen nacheinander geringfügige Verlängerungen des Halses ergeben haben, von denen jede dem jeweiligen Individuum einen besseren Zugang zu nahrhaftem Blattwerk gab; dies wiederum trug dazu bei, daß es seinen erblich fixierten Vorteil an seine Nachkommen weitergeben und auf diese Weise zur gegenwärtigen körperlichen Erscheinung der Art beitragen konnte.

Welche komplexen evolutionären Vorgänge schufen den außergewöhnlichen Körperbau des Elefanten?

Erbübertragung am Anfang des Lebens von dem unterschieden haben müsse, den wir heute kennen: Er habe – gegenüber heute – in umgekehrter Richtung funktioniert und umweltbedingte Mutationen den Eiweißstoffen (Proteinen) der DNS aufgeprägt *(Enzyminduktion).* Erst einige Zeit später sei das Verkehrsschild „Einbahnstraße" (von der DNS in Richtung Protein) an dieser biologischen Straße aufgestellt worden.

Andere Wissenschaftler vertreten in einer Art Kompromißlösung die Meinung, daß zwar die „Einbahnstraße" vom Anfang des Lebens an gegolten habe, daß jedoch Veränderungen durch die DNS an die Eiweißstoffe weitergegeben worden seien. Sie sind ferner der Ansicht, daß zu keiner Zeit umweltbedingte Veränderungen der Bauanleitung auf die DNS durch die Einwirkung enzymatischer Proteine übertragen wurden. Sie sind allerdings davon überzeugt, daß unter Umständen durch den Zufall eine günstige, wenn auch unvollkommene Mutation herbeigeführt worden sei und daß dieser günstige Mutationssprung unter Umständen in einem als „Selbstkatalyse" bezeichneten Prozeß einen günstigen Einfluß ausgeübt habe.

Die ersten lebenden Zellen

Tier oder Pflanze? Primitive heterotrophe Lebensformen

Die Ereignisse, die wir bis jetzt erörtert haben und die teilweise ihre Erklärung gefunden haben, die Wissenschaftler jedoch immer noch vor Rätsel stellen, haben zu den *ersten lebenden Zellen* geführt. Die primitiven Zellen waren kleine Pakete von Enzymen und Nukleinsäuren (DNS und RNS), die von einer Membran aus einer doppelten Schicht von Phospholipiden umhüllt waren; die Membranen waren auf beiden Seiten von einer Schicht enzymatischer Eiweißstoffe bedeckt.

Als erstes erhebt sich die Frage, ob diese ersten lebenden Zellen Tiere oder Pflanzen waren. In der Welt von heute ist der tierische Organismus ein Nutznießer des pflanzlichen. *Pflanzen sind autotroph,* d. h., sie stellen ihre Körpersubstanzen aus einfachen anorganischen Bestandteilen selbst her. *Tiere* jedoch *sind heterotroph* und ernähren sich von anderen Organismen. Heute neigen wir zu der Ansicht, daß die Pflanzen zuerst da waren. Doch dürfen wir nicht vergessen, daß in der frühen „Morgendämmerung des Lebens" der Ozean eine dicke Suppe aus organischer Materie war, die von keinerlei Lebensform erzeugt worden war. Dieser organische „Stoff" war aus bestimmten chemischen Reaktionen entstanden, die durch die Einwirkung von Energie in der umgebenden Atmosphäre möglich geworden waren, insbesondere durch die Strahlungskraft der Sonne. Da jene Vorläufer der lebenden Welt sich von der organischen Materie ernährten, die in ihrer Umgebung vorhanden waren, müssen wir sie als „heterotroph" beschreiben. Es wäre jedoch ein Fehler, sie deswegen als „Tiere" zu bezeichnen. Tiere und Pflanzen haben bei allem Unterschied in der Ernährung etwas gemein, was von größter Bedeutung ist: die Art und Weise, wie sie die Energie beschaffen, die für ihre Lebensfunktionen unerläßlich ist.

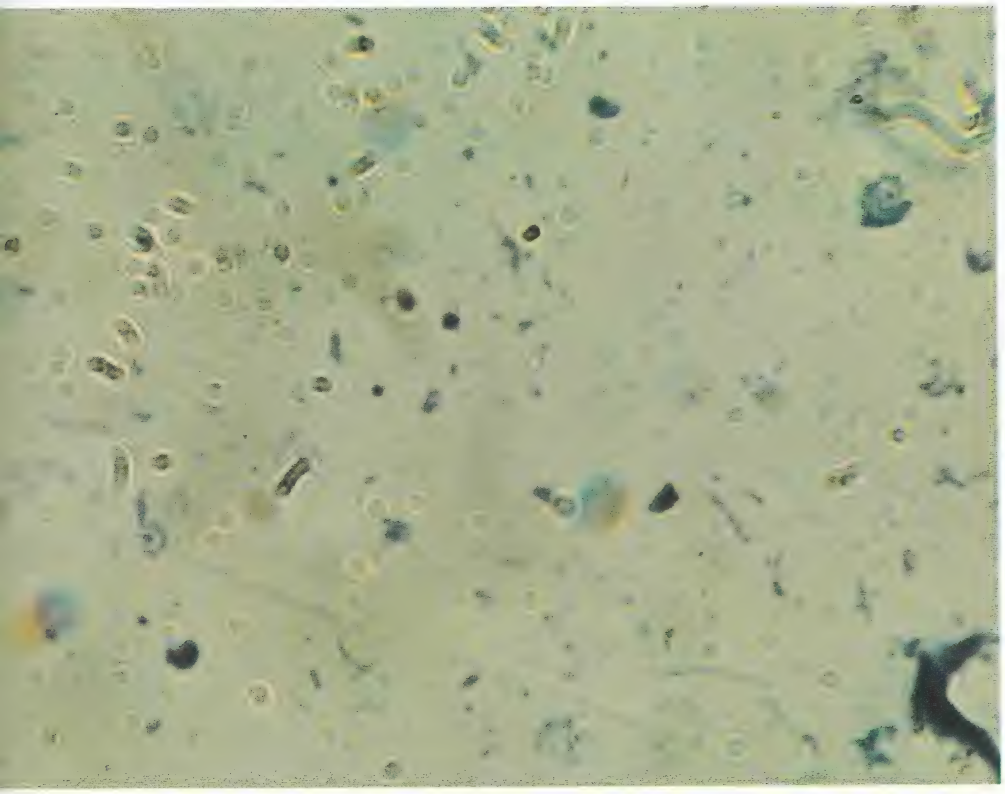
Bevor wir uns nun ein wenig mit dem Innenleben jener ersten heterotrophen Lebensformen beschäftigen, müssen wir uns zuerst darüber klar werden, auf welche Art und Weise sich fast alle Lebewesen unter den heutigen Bedingungen ihre Energie beschaffen, seien sie nun autotroph oder heterotroph.

Mit seltenen Ausnahmen, wie z.B. der anaerobe Tetanusbazillus „Clostridium tetani", der den Wundstarrkrampf verursacht, gilt sowohl

für tierische als auch für pflanzliche Organismen, daß sie *atmen* oder, besser gesagt, irgendeine Art Abbaustoffwechsel haben. Dies bedeutet, daß beide Formen für die chemische Reaktion, die Glucose in Kohlendioxid und Wasser umwandelt, Sauerstoff aufnehmen müssen. Die chemische Reaktion vollzieht sich über eine Anzahl von Zwischenstufen. In diesem stufenförmigen Ablauf von Reaktionen wird fast die gesamte in der Glucose chemisch gebundene Energie freigesetzt, die alle lebenden Organismen – die tierischen wie die pflanzlichen – dazu benötigen, um ihren Körper aufzubauen und zu bewegen, ihre Art fortzupflanzen und (bei warmblütigen Tieren) die Temperatur im Inneren ihres Körpers, unabhängig von der Außentemperatur, auf einem bestimmten Niveau zu halten.

Leben ohne ungebundenen Sauerstoff

Zu jener Zeit, als das Leben entstand, gab es, wie wir gesehen haben, keinen Sauerstoff in der Atmosphäre. Infolgedessen konnten diese ersten Lebensformen nicht so atmen, wie wir Menschen das heute tun. Ihre lebensnotwendige Energie mußten sie sich über irgendwelche anderen chemischen Reaktionen beschaffen, wobei vielleicht auch



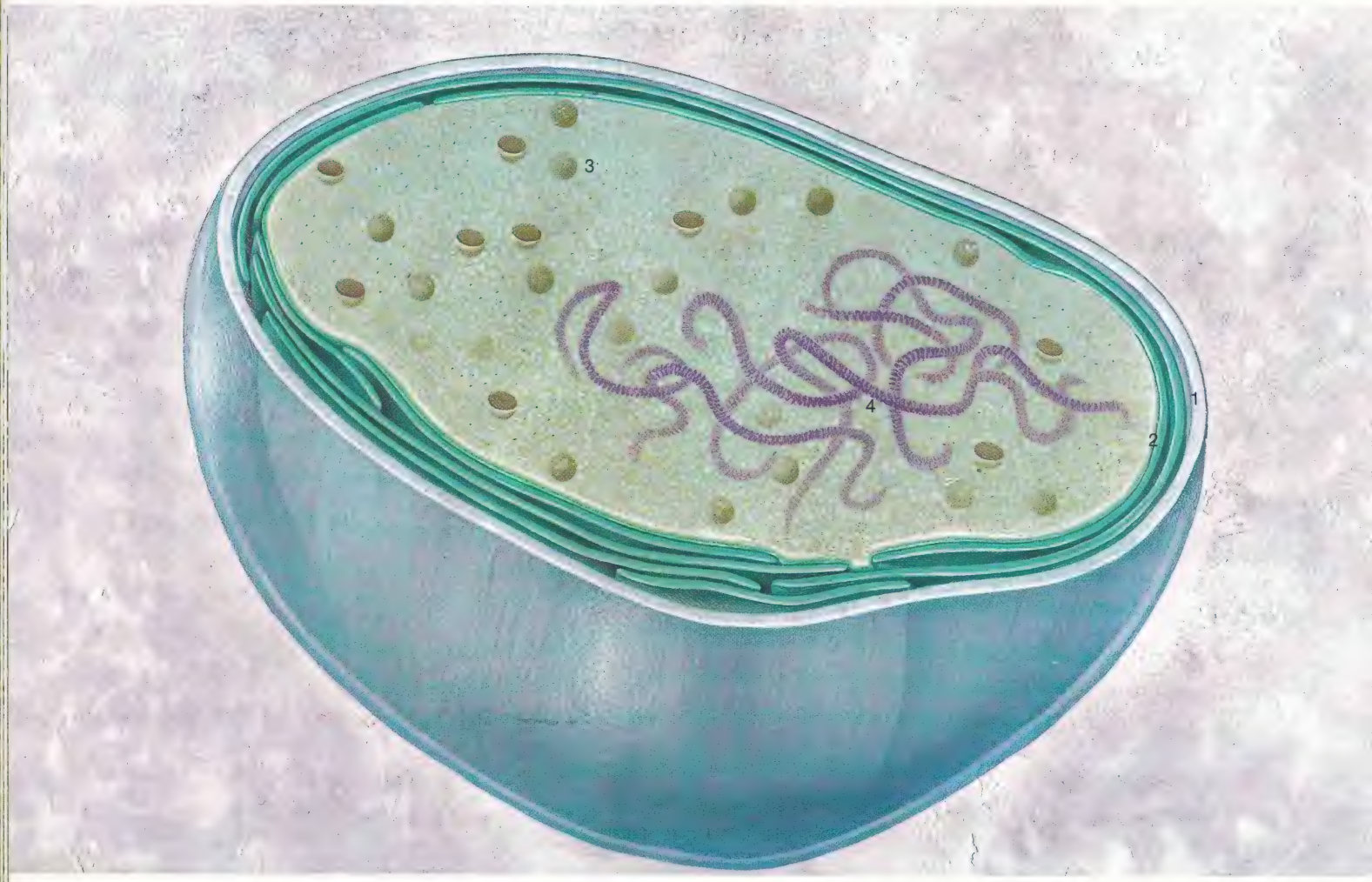
Eine Kolonie von Tetanusbakterien (Clostridium tetani). Clostridium tetani ist einer derjenigen Mikroorganismen, die ohne Sauerstoff auskommen.

Glucose in Kohlendioxid und Wasser verwandelt wurde. Was für chemische Reaktionen waren das? Wir können darüber nur Mutmaßungen anstellen, da wir uns auf keine direkten Beweise stützen können. Außerdem müssen wir zu logischen Schlußfolgerungen greifen.

Es kann eine ganze Anzahl von Lebensformen gegeben haben, die sich auf verschiedenen Nährböden hielten, wobei sich jede zur Deckung ihres Energiebedarfs auf andere chemische Reaktionen gestützt haben mag. Wir kennen tatsächlich einige dieser „seltsamen Formen". So wissen wir z. B., daß es Mikroorganismen gibt, die unmittelbar von Ammoniak leben können. Ihr Vorhandensein wurde vor kurzem von Wissenschaftlern der NASA nachgewiesen, die zur Erforschung der Wahrscheinlichkeit von Leben auf anderen Planeten die ganze Welt nach Lebensformen absuchten, die unter außergewöhnlichen Bedingungen existieren können. Sie entdeckten einen Mikroorganismus, der in dem Boden um Harlech Castle in Wales lebt. Dieses Schloß ist seit 800 Jahren bewohnt, und der Ausfluß der Kanalisation hat den Boden mit Ammoniak durchtränkt. Wenn man den in diesem Boden lebenden Mikroorganismen das Ammoniak wegnimmt, gehen sie zugrunde. Dies kann ein Indiz dafür sein, daß es vor 3 Milliarden Jahren durchaus Mikroorganismen gegeben haben kann, die das in der Atmosphäre jener Zeit vorhandene Ammoniak unmittelbar nutzen konnten.

So interessant diese ungewöhnlichen Lebensbedingungen jedoch gewesen sein mögen, wir suchen nicht nach einer außergewöhnlichen, sondern nach einer gewöhnlichen Lebensform, die die ständig zunehmenden Reserven an Glucose zur Erzeugung von Energie nutzen

Linke Seite: Das Gras produziert Nährstoffe für sich selbst und für pflanzenfressende Tiere, wie diese Kühe und Kälber auf einer spanischen Weide. Sowohl die Pflanzen als auch die Tiere beziehen ihre Energie aus den Nährstoffen durch denselben Prozeß.



Oben: Eine primitive oder prokaryontische Zelle, für die das Fehlen eines klar umgrenzten Kerns typisch ist. In der Zeichnung sehen wir die Membran (1), die Lamellen (2), die Stützen für die Pigmente der Photosynthese bilden; ferner die Ribosomen (3), in denen die Proteine synthetisiert werden, und die Chromosomen (4; diese sind nicht in einem Zellkern enthalten, sondern bestehen aus DNS-Schnüren).

Rechte Seite: Vulkanische Erscheinungen stoßen ungeheure Mengen von Kohlendioxid in die Atmosphäre aus. Auf dem Foto ist der Vulkan Helgafell der isländischen Insel Heimaey abgebildet.

konnte, ohne Sauerstoff zu verbrauchen. Auch heute noch gibt es Organismen, die ohne Sauerstoff und mit Glucose als Energielieferant leben; sie sind keineswegs selten. Weshalb also sagen wir, daß in jenen fernen Zeiten solche Bedingungen „gewöhnlich" gewesen sein müssen, also die allgemeingültigen Bedingungen für das gesamte Leben gewesen waren?

Die Wissenschaftler haben Beweise dafür gesammelt, daß es in der Uratmosphäre keinen Sauerstoff gab. Bei ihren Experimenten, die Ereignisse von damals zu rekonstruieren, vermochten sie bislang keinen Mechanismus zu entdecken, der Sauerstoff erzeugen konnte. Andererseits wissen wir nicht viel über den Ursprung des Kohlendioxids (CO_2), obwohl dieses Gas heute noch 0,03 % der Atmosphäre ausmacht. Wie wir später noch sehen werden, wurde das CO_2 im Laufe der Zeit durch die Stoffwechseltätigkeit der Organismen, besonders der grünen Pflanzen, in Form von Kohle und Ölablagerungen festgelegt. Es würde unsere Untersuchungen daher weiterbringen, wenn wir einen Mechanismus entdecken könnten, der ohne Zuhilfenahme von Sauerstoff in der Lage ist, die Glucose zur Energieerzeugung zu nutzen und Kohlendioxid zu produzieren.

Auch die Gärung erhöht die Kohlendioxidmenge in der Atmosphäre. Schon Tausende von Jahren, bevor die wissenschaftliche Untersuchung der Gärung den Weg zu einem beseren Verständnis der Erscheinung des Lebens bahnte, verschaffte sich der Mensch durch die Gärung angenehme Getränke. Dieses Mosaik (im Mausoleum des Heiligen Konstantin in Rom) wurde im 4. Jahrhundert n. Chr. geschaffen und stellt eine Weinlese dar, bei der Knaben die Trauben pflücken und mit den Füßen einstampfen.

Einen solchen chemischen Mechanismus gibt es tatsächlich. Er heißt *Gärung*. Der Mensch macht sich diesen Prozeß schon seit Tausenden von Jahren zunutze, ohne ihn wirklich zu begreifen. Die ersten Einsichten in das Phänomen „Gärung" verdanken wir dem großen französischen Chemiker und Mikrobiologen Louis Pasteur (1822–1895). Pasteur hegte den Verdacht, daß der Gärungsprozeß in irgendeiner Art und Weise mit dem Problem vom Ursprung des Lebens zusammenhängt. Trotz seiner genialen Experimente konnte damals der Beweis dafür jedoch noch nicht erbracht werden.

Pasteur enthüllt das Geheimnis der Gärung

Pasteur war auf dem Gebiet der Chemie und Kristallographie bereits ein anerkannter Wissenschaftler, als er Dekan der naturwissenschaftlichen Fakultät an der Universität von Lille in Nordfrankreich wurde. Wie einer seiner Biographen, der französisch-amerikanische Bakteriologe René Dubos (geb. 1901), berichtet, erfolgte Pasteurs Ernennung unter der Bedingung, daß er „die Aufmerksamkeit seiner Studenten auf die wissenschaftlichen Aspekte der Industrietätigkeit in diesem Teil von Frankreich lenken sollte". Pasteur stimmte zu, denn er war der Meinung, „es gibt keine zwei Arten von Naturwissenschaft, ..., es gibt nur die

Innenaufnahme einer Brauerei. In diesen kupfernen Kesseln wird das Gerstenmalz zu Maische gekocht, die dann in großen Kesseln in den Gewölben zu Bier vergärt.

Naturwissenschaft und die Anwendung der Naturwissenschaft, und eines hängt vom anderen ab, wie die Frucht vom Baum".

Kurz nach seiner Ankunft in Lille bat ein Fabrikant dieser Stadt den Wissenschaftler, ein Problem zu untersuchen, das mit der Herstellung von Alkohol aus Zuckerrüben zusammenhing, was dort damals ein führender Industriezweig war. Die Leute, die Alkohol durch Vergären von Zuckerrübensaft produzierten, klagten darüber, daß ihre Maische häufig durch Fremdstoffe verdorben werde. Als Pasteur die vergorene Flüssigkeit mit seinem Mikroskop untersuchte, kam er zu dem Schluß, daß die während der Gärung erzeugten Substanzen auf die Tätigkeit irgendeines Lebewesens zurückzuführen seien. Als erstes stellte er das Postulat auf, daß die Erzeugung von Alkohol das Ergebnis der biologischen Tätigkeit von Hefe, einem mikroskopisch kleinen Pflanzenorganismus, sei; und als zweites, daß das Verderben der Maische durch andere Mikroorganismen verursacht werde, die sich über den Zucker in dem Rübensaft hermachten.

Das war im Jahre 1857, und bis dahin hatte niemand in der Gärung irgendeinen Unterschied zu anderen chemischen Prozessen gesehen, die ohne Einwirkung von lebenden Organismen vonstatten gehen. Zunächst wurde Pasteurs Hypothese mit großer Skepsis aufgenommen. Der deutsche Chemiker Justus von Liebig (1803–1873) betrachtete die ganze Idee als schwachsinnig und lächerlich, „als ob ein Kind die rasche Strömung des Rheins dadurch zu erklären versucht, daß es sagt, daß sie durch die heftige Bewegung der vielen Windmühlen in Mainz erzeugt wird".

Mikroskopische Aufnahme von Hefezellen, die den aus der Gerste gewonnenen Malzzucker vergären und zusammen mit Hopfen dadurch Bier erzeugen.

Es waren eine Menge weiterer Untersuchungen und experimenteller Beweise erforderlich, bis Pasteurs These allgemein anerkannt wurde, daß die für die Gärung (bei Alkohol, Essig und Milch) notwendige Hefe aus lebenden Zellen bestand. Dies warf ein weiteres Problem auf: Woher kamen diese lebenden Zellen? Es war allgemein bekannt, daß man *Hefe* zum Mehl geben mußte, um den Brotteig „aufgehen" zu lassen; daß man zur Herstellung von Essig die sogenannte „Essigmutter" und zur Erzeugung von Joghurt der Milch etwas Lab zusetzen mußte. Anders verhielt es sich jedoch bei der *alkoholischen Gärung;* dem Trauben- oder Zuckerrübensaft wurde gar nichts zugesetzt. Entstanden die „Keime" der alkoholischen Gärung zuerst von selbst in der Traube? Wiederum wurde die Aristotelische Theorie von der Urzeugung lebendig.

Im Jahre 1878 trat Pasteur dieser Theorie mit mehreren umfassenden Experimenten entgegen, die darauf angelegt waren, seine Auseinandersetzung mit dem großen französischen Wissenschaftler Claude Bernard (1813–1878) endgültig zu einem Ende zu bringen. In einem Experiment entnahm er Trauben mit einer sterilisierten Hohlnadel den Saft. Dieser Saft vergor nicht, da er mit keinerlei Art von Mikroorganismen in Berührung gekommen war. Das zweite Experiment war noch anspruchsvoller. Während einer ganzen Wachstumsperiode schützte Pasteur seine Weinstöcke sorgsam in einem Gewächshaus. Dann erntete er die Trauben unter sterilen Bedingungen und kelterte sie. Der Traubensaft vergor nicht, und es entstand kein Wein. Pasteur führte diese Ergebnisse als Beweis dafür an, daß bei der alkoholischen ebenso wie bei der

Rechte Seite: Sportler beim Hürdenlauf. Jedesmal, wenn ein Muskel zusammengezogen wird, erfolgt der uralte anaerobe Prozeß der Gärung noch einmal. Später wird das durch die Muskeltätigkeit bewirkte „Sauerstoffdefizit" durch den wirtschaftlicheren Oxydationsprozeß wieder „ausgeglichen".

Essiggärung lebende Organismen von außen in die Gärflüssigkeit hineingelangten. Bei der Essiggärung setze sie der Mensch absichtlich zu, während bei der Umwandlung von Traubensaft in Wein die Mikroorganismen von außen, aus der Luft hineingelangten, ohne daß es der Mensch wisse. Theoretisch hatte Pasteur einen indirekten Beweis dafür geliefert, daß die Urzeugung unmöglich war.

Ihm schienen nun die Worte eines anderen großen Wissenschaftlers: „Omnis cellula e cellula" (=jede lebende Zelle stammt von einer anderen lebenden Zelle ab) vollständig bestätigt. „Die Lehre von der Urzeugung" erklärte Pasteur, „wird sich nie mehr von dem Todesstoß erholen, den ihr dieses einfache Experiment versetzt hat." Tatsächlich aber ist die Wissenschaft, wie wir im Zusammenhang mit früheren Experimenten zur Urzeugung bereits bemerkt haben, zur Theorie der Urzeugung in Form einer noch raffinierteren und wissenschaftlicheren Gärung – der chemischen Evolution – zurückgekehrt, um die Entstehung des Lebens erklären zu können. Pasteur hatte natürlich die Unmöglichkeit der Urzeugung unter den jetzt auf unserem Planeten herrschenden Bedingungen nachgewiesen. Als das erste Leben entstand, waren die Bedingungen auf unserem Planeten jedoch vollständig anders.

Tatsächlich hatten Pasteurs Untersuchungen über die Gärung eine viel größere Bedeutung, als er sich überhaupt vorstellen konnte, und sie können uns beim Verständnis dessen unterstützen, was am Anbeginn des Lebens geschehen sein muß, als die ersten Lebewesen ihre Lebensenergie aus Glucose bezogen, ohne diese in Anwesenheit von Sauerstoff zu oxydieren (oder zu verbrennen), da Sauerstoff nicht zur Verfügung stand.

Eines Tages legte Pasteur einen Tropfen Zuckerlösung unter sein Mikroskop, in welchem eine *Buttersäuregärung* im Gange war, und er beobachtete das übliche rasche Hin und Her von Kleinstlebewesen. Doch plötzlich veränderte sich das Bild. Die Mikroorganismen in der Mitte des Tropfens bewegten sich wie üblich hin und her, während die am Rande langsamer wurden und sich schließlich überhaupt nicht mehr bewegten. Diese zufällige Beobachtung brachte Pasteur auf den Gedanken, ob nicht vielleicht die Luft für die Mikroorganismen in der Buttersäuregärung schädlich sei oder – anders gesagt – ob sie nicht vielleicht sogar ohne Sauerstoff überleben und besser gedeihen könnten. Von dieser Eingebung ausgehend, untermauerte er seine (bereits zuvor schon mehrmals gemachte) Beobachtung, daß sich Buttersäure leichter bildet, wenn die Zuckerlösung unter Luftabschluß steht.

Seit den ersten Untersuchungen über den Sauerstoff war es niemandem in den Sinn gekommen, daß es Leben ohne Sauerstoff geben könne. Ohne Furcht davor, erneut lächerlich gemacht zu werden, fing Pasteur an, Theorien darüber aufzustellen, ob es nebeneinander „aerobes" Leben (das Sauerstoff benötigt) und „anaerobes" (für das kein Sauerstoff erforderlich ist, für das Sauerstoff im Gegenteil in vielen Fällen sogar schädlich ist) geben könne. Er faßte seine Gedanken in folgender brillanter Synthese zusammen: „Gärung ist Atmung bei Fehlen von Sauerstoff."

Dank der Einsicht von Pasteur sind wir in der Lage, unsere Vorstellungen über die verschiedenen Formen der Zuckergärung zu vereinheitlichen und die Rolle zu entdecken, die die Gärungsprozesse spielten, als die Welt zu der uns heute bekannten gestaltet wurde. Bei der *Gärung* wird das Zuckermolekül nicht in Kohlendioxid und Wasser

umgesetzt, wie es bei der vollständigen Oxydation (oder Verbrennung) geschieht. Infolge dieses nur teilweisen Zerfalls ist die Energie, die im Gärungsprozeß aus einem Zuckermolekül gewonnen werden kann, geringer als die, die bei vollständiger Oxydation aerob daraus erzielbar ist. Dieser geringere Energieertrag führt dazu, daß eine viel größere Menge Zucker zur Aufrechterhaltung des Energiehaushalts verbraucht werden muß – doch bot die Ursuppe ja eine riesige Menge an Nährstoffen.

Die primitive Gärung: die brodelnde Ursuppe

Wir können von der Annahme ausgehen, daß die ersten chemischen Reaktionen, aus denen Lebensformen Energie bezogen, die anaeroben Reaktionen einer Gärung waren, die in der Uratmosphäre stattfinden konnten. Unser Gedankenbild von der Ursuppe wird jetzt komplizierter, weil wir nun auch die Nebenprodukte der Gärung hinzufügen müssen; je nach Gärungstyp: Alkohole, Buttersäuren und vor allem das Kohlendioxid, das durch diesen urweltlichen Gärungsprozeß genauso freigesetzt wurde, wie es heute gärenden Traubensaft erwärmt und Bläschen darin erzeugt.

Die Gärung ist ein sehr komplexer Vorgang und erfordert verschiedene Enzyme. Diese Enzyme sind Proteine und müssen als solche nach Nukleinsäureschablonen erzeugt werden. Daher besaßen die ersten

Organismen, die sich den Gärungsprozeß zunutze machten, bereits bestimmte Grundmerkmale, die die Lebewesen über Milliarden von Jahren hinweg von Generation zu Generation weitergegeben haben. Die grundlegenden Auswahlentscheidungen waren bereits gefallen. Natürlich können wir nicht in Erfahrung bringen, welche dieser primitiven, auf Gärung eingerichteten Mikroorganismen denjenigen ähnelten, die wir heute kennen, doch können wir annehmen, daß die jetzt zur Gärung eingesetzten Hefezellen von allen Lebewesen diejenigen sind, die die größte Ähnlichkeit mit den Urlebewesen aufweisen. Nur sehr selten gibt die Natur eine Struktur auf, die bereits in „Gebrauch" ist.

Dies können wir auch bei höheren Lebewesen feststellen. Hier ist der Sauerstoff zur restlosen Aufspaltung der Glucose nötig, wobei hohe Energiemengen freigesetzt werden. Später werden wir sehen, daß sich diese Aufspaltung stufenweise vollzieht und daß die ersten Stufen häufig dieselben wie bei der Gärung sind. Jedesmal, wenn sich ein Muskel zusammenzieht und dadurch Energie verbraucht, ist die uralte Kette der anaeroben Gärungsreaktionen im Spiel; aerobe Reaktionen treten erst später auf. Zwar gibt es keine fossilen Belege für diese frühen Mikroorganismen, doch ist eine „Aufzeichnung" darüber, wie sie chemisch funktionierten, in den chemischen Reaktionen archiviert, die sich bei höheren Lebewesen abspielen. Etwas Uraltes ist uns in uns selbst als historisches Überbleibsel geblieben – der anaerobe Stoffwechsel, der sich in der Ursuppe entwickelt hat. Doch davon später.

Noch eine weitere „Spur" dieser längst dahingegangenen Lebensform findet sich darin, daß unsere Atmosphäre mit Kohlendioxid angereichert wurde. Dieses Nebenprodukt erwies sich als höchst wertvoll, als sich eine weitere Umweltkrise entwickelte.

Eine glänzende Erfindung, um der Hungersnot zu entgehen: die Photosynthese

Die Ursuppe war eine reiche Nährstoffquelle, doch war sie nicht unerschöpflich; Gärungsorganismen, die riesige Zuckermengen verbrauchen mußten, um sich ein wenig Energie zu verschaffen, brauchten sie auf. Andererseits fielen als Nebenprodukte der Gärungen zahlreiche Verbindungen an, die noch ziemlich energiereich waren, aber nicht ausgenutzt werden konnten. Angesichts der „Hungersnot" entwickelte sich ein neuer Überlebensprozeß. Die heterotrophe Ernährung reichte nicht mehr aus, da die Vorräte zur Neige gingen. Einige Mikroorganismen, die sich an die autotrophe Ernährung anpassen konnten, hatten einen Wettbewerbsvorteil. Diese Mikroorganismen erzeugten ihre eigene Glucose, indem sie das Licht in einem Prozeß ausnutzten, der als Photosynthese bezeichnet wird (d. h., die Atome fügen sich unter Lichteinwirkung zusammen). Sie konnten durch Photosynthese Glucose herstellen, weil sich in der Atmosphäre durch die Vulkantätigkeit und die Gärungsprozesse Kohlendioxid angesammelt hatte.

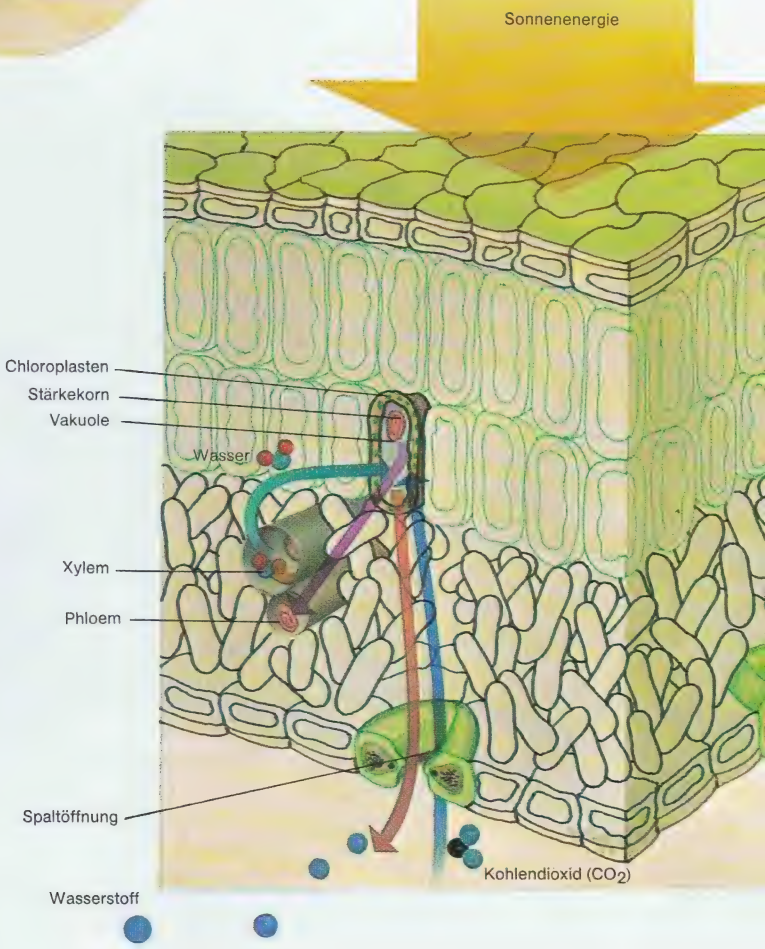
Die ersten Mikroorganismen, die Glucose mit Hilfe der Photosynthese herstellen konnten, schwebten vermutlich dicht unter der Meeresoberfläche, da sie zwar einerseits auf das Sonnenlicht als Energiequelle angewiesen waren, andererseits jedoch Schutz vor der ultravioletten Strahlung suchen mußten. (Die UV-Strahlung war damals ja, wie bereits früher dargelegt, sehr viel intensiver als heute; denn durch das Fehlen atmosphärischen Sauerstoffs konnte sich keine die UV-Strahlen absorbierende Ozonschicht bilden.) Diese ersten Mikroorganismen ähnelten denen, die wir heute als rote *(Purpurbakterien)* und grüne Bakterien *(Chlorobakterien)* und als *Blaualgen* kennen.

Die Photosynthese bei den Purpur- und Chlorobakterien und bei den Blaualgen

Unter den Bakterien sind nur bestimmte Vertreter der *roten* und *grünen Bakterien* zur Photosynthese befähigt und damit echte *autotrophe Organismen.* Wie die grünen Pflanzen und die Blaualgen sind sie von der Lichtenergie abhängig und benutzen für ihr Wachstum anorganische Substanzen. (Die meisten Bakterien gehören zu den Heterotrophen, einer großen Gruppe, zu der auch der Mensch und alle Tiere gehören.) Die sonstigen autotrophen Bakterien auf der Erde machen sich nicht die Photosynthese zunutze, sondern beziehen ihre Energie aus anderen Prozessen. Derartige Bakterien können den trägen Stickstoff in der Atmosphäre in Salze umwandeln und dadurch den Boden fruchtbarer machen. In Schwefelquellen entziehen sie dem Schwefelwasserstoff Schwefel, während andere autotrophe Bakterien ihre Energie dadurch beziehen, daß sie Eisen oxydieren. Manche Bakterien leben sogar in Kohlenmonoxid (CO), einer Substanz, die auf alle anderen Lebensformen tödlich wirkt. Sie oxydieren das Kohlenmonoxid zu Kohlendioxid (CO_2). Die roten und grünen Bakterien sind aber deswegen autotroph, weil sie die Photosynthese durchführen können. Im Gegensatz zur pflanzlichen Photosynthese jedoch ist die *bakterielle Photosynthese* ein anaerober Prozeß; er spielt sich in einer sauerstofffreien Umgebung ab und produziert nie ungebundenen Sauerstoff. Eben wegen dieses Mechanismus haben diese primitiven Mikroorganismen bis heute überlebt.

Es gibt eindeutige chemische Unterschiede zwischen den Chlorophyllen und anderen photosynthetisch aktiven Pigmenten, die in Bakterien nachweisbar sind, und denjenigen, die in grünen Pflanzen, einschließlich Algen, vorhanden sind. Deswegen verwenden Bakterien einerseits und höhere Pflanzen und Algen andererseits verschiedene

Fossile Blaualgen, in Nordamerika gefunden; eines der ältesten Fossilien, das rund 700 Millionen Jahre alt ist.

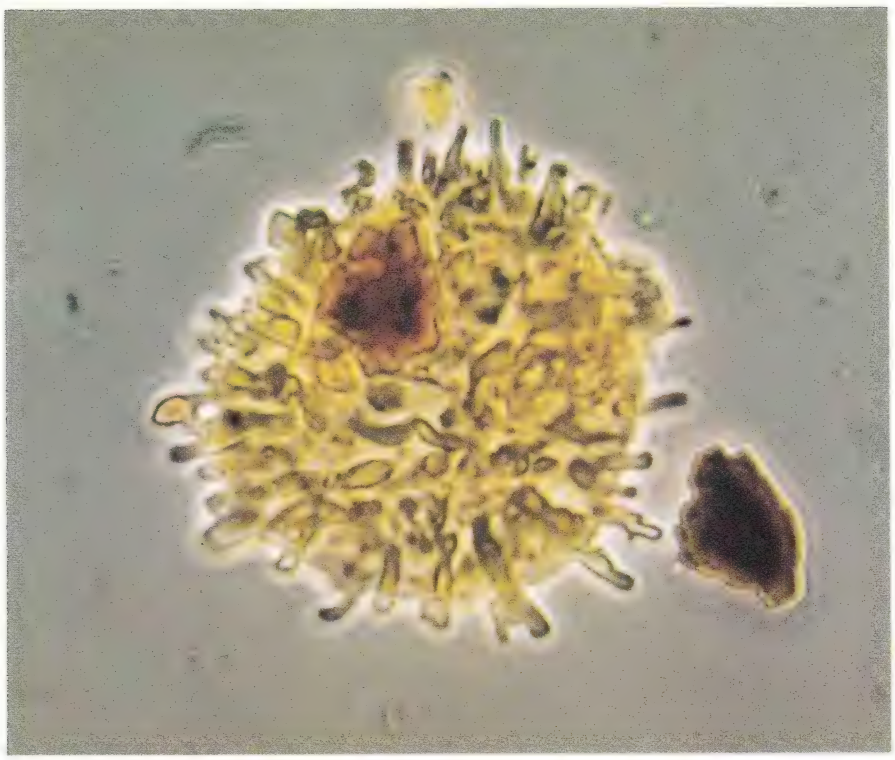


Das Blatt, das „chemische Labor" der Photosynthese. Die Blattadern bilden zusammen in der Hauptsache das Versorgungsgewebe (Xylem und Phloem). Das Blatt wird durch das Xylem (Holzgefäße; vgl. Kreis) mit Wasser und Mineralien versorgt. Als Gegenleistung versorgt es die übrige Pflanze durch sein Phloem (Siebröhren) mit dem Zucker, den es in seinen Palisadenzellen herstellt. Die Spaltöffnungen absorbieren Kohlendioxid aus der Atmosphäre und geben Sauerstoff frei. Die Blattadern setzen sich im Blattstiel und weiter durch das Verbindungsgewebe durch Stamm und Wurzel fort.

Blattstiel
Knospe
Blattansatzstelle
Stengel
Kutikula
obere Epidermis
Palisadengewebe
Phloem
Xylem
Schwammgewebe
untere
Epidermis
Kutikula
Stärkekorn
Wasser (H_2O)

Wellenlängen des Lichts für die Photosynthese. Die roten und grünen Bakterien leben im Wasser in einer Umgebung, in der auch einige Algen ansässig sind. Sie leben jedoch in tieferen Wasserschichten, wo es wenig oder keinen ungebundenen Sauerstoff gibt. Das Licht, das sie für die Photosynthese benötigen, wird häufig durch eine Schicht von Algen in der Nähe der Wasseroberfläche gefiltert. Wegen ihrer einzigartigen Pigmentsysteme jedoch, die Wellenlängen des Lichts nutzen, die von den Algen nicht absorbiert (d.h. genutzt) werden, können diese Bakterien vor der Konkurrenz bestehen.

Der „große Sprung nach vorn" in der Entwicklung der Photosynthese als des grundlegenden dynamischen Lebensprozesses fiel zusammen mit dem Auftreten der *Blaualgen.* Ihr Name ist etwas irreführend, da nur etwa die Hälfte der Blaualgen auf der Erde heute tatsächlich diese Farbe haben. Die anderen weisen eine breite Farbskala auf: Blau, Grün, Gelb und Rot mit vielen Zwischentönen. Manche sind einzellig und leben allein, doch viele existieren als Zellkolonien mit geringer oder ohne Differenzierung. Die typischste Anordnung ist ein Fädchen aus Zellen, die jeweils mit ihren Enden aneinander befestigt sind. Die Entstehung von Blaualgen, die heute weltweit auf unserem ganzen Planeten verbreitet sind, läßt sich aus Ablagerungen in Transvaal nachweisen, wo Silicatsalze nach Absterben der Algen diese durchsetzt und dadurch deren Form konserviert haben. Diese Ablagerungen wurden auf 3,1 Milliarden Jahre datiert. Andere, in Kanada gefundene sind 1,9 Milliarden Jahre alt. Blaualgen – die bisweilen die Pioniere des Lebens genannt werden – wurden in Eiskappen und in der Nähe heißer Quellen festgestellt, wo die Wassertemperatur rund 80 °C beträgt ferner in Süßwasser und in Salzwasser, ja sogar in Wüsten, wo sie als „schlum-



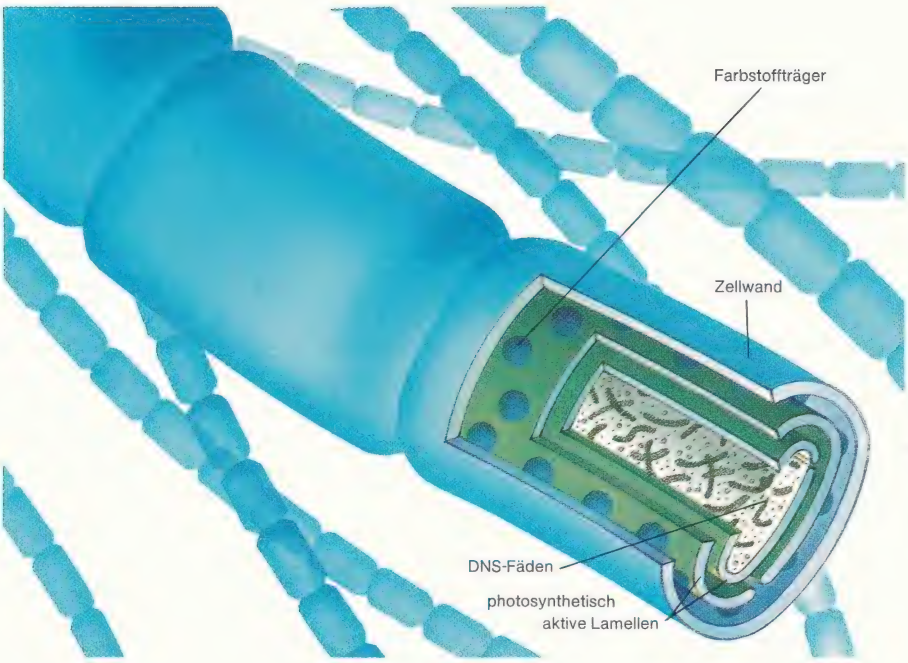
Mikrofotografie fossiler Sporen aus Kohlenbergwerken in England. Die Spore ist die Fortpflanzungszelle mancher Pflanzen (z.B. Farne).

mernde Lebensform" fortbestehen, aus der sie augenblicklich erwachen, wenn sie in Berührung mit Wasser gebracht werden.

Andere pflanzliche Organismen benutzen die Photosynthese nur dazu, Kohlenhydrate (Zucker, Stärke, Zellulose) zu bilden. Sie sind nicht in der Lage, den in der Atmosphäre vorhandenen Stickstoff zur Herstellung von Eiweißsubstanzen zu nutzen, die Stickstoff enthalten. Hierzu benötigen sie bestimmte Bakterien, welche, wie wir gesehen haben, den atmosphärischen Stickstoff in Salze umwandeln und auf diese Weise den Boden anreichern. Die Blaualgen wiederum nutzen den Stickstoff direkt in einem derartigen Umfang, daß z.B. die Reisfelder in Ostindien nie gedüngt werden müssen, weil sich diese Mikroorganismen in den bewässerten Feldern so vermehren, daß sie alle erforderlichen Stickstoffsalze bereitstellen.

Die Blaualge ist eine äußerst wirkungsvolle, mikroskopisch kleine „Lebensmaschine". Sie enthält Chlorophyll (wie alle grünen Pflanzen), verdankt jedoch ihre Farbe einem bläulichen Pigment. Die Blaualge ist, relativ gesehen, äußerst primitiv; es fehlt ihr der komplexere Zellaufbau, wie ihn selbst einzellige Organismen aufweisen. Sie hat ein unscharf umgrenztes Kerngebiet (im Gegensatz zu anderen Zellen); aus diesem Grund werden sowohl Bakterien als auch Blaualgen *Prokaryonten* genannt (von griechisch pro = vor und griechisch káryon = Kern).

Unten: Anbau von Algen für Nahrungszwecke in Japan.



Aufbau einer Blaualge.

Nichtsdestoweniger sind im Fortpflanzungsmechanismus der Alge diejenigen Nukleinsäuren vorhanden, die die erforderlichen Daten tragen. Dies kann uns nicht überraschen. Wie wir bereits bemerkt haben, liegt es nur am Vorhandensein eines Mechanismus für die Vervielfältigung dieser Daten, daß die chemischen „Lebensrezepte" von einer Generation zur nächsten weitergegeben werden. Ein chemischer Mechanismus, der nur ein einziges Mal hervorgebracht wird (und dem jede Wiederholungsmöglichkeit fehlt), könnte nicht als „lebend" beschrieben werden. Es würde sich dabei lediglich um eine chemische Reaktion handeln, die vielleicht komplex ist, jedoch zum Reich der unbelebten Materie gehört. Die Membran, die die winzige Alge umhüllt, ist ebenfalls relativ einfach. Sie ist nicht einmal mit der Fähigkeit ausgestattet, einen Mindestvorrat an Wasser zu speichern; sie nimmt Wasser vielmehr durch den ziemlich unwirtschaftlichen Prozeß der Diffusion auf (d. h. Molekül um Molekül mit dem Konzentrationsgefälle).

Diese primitive Struktur ist jedoch, wie wir gesehen haben, fähig zur Photosynthese und in den meisten Fällen auch zur aeroben Atmung. Dadurch hat sie in etwas mehr als einer Milliarde Jahren eine Arbeit geleistet, durch die Bedingungen geschaffen wurden, die für die Geburt komplexerer Lebensformen geeignet waren.

Wir wissen nicht, ob die heutigen Blaualgenarten tatsächlich die gleichen sind wie die Blaualgentypen, die vor 3 Milliarden Jahren in Transvaal wuchsen und gediehen. Auch wissen wir nicht, ob die Reaktionen der Photosynthese von Anfang an denselben Regeln folgten wie heute. Eine gewisse Evolution ist wahrscheinlich, so daß sich die Photosynthese wohl aus einer einfachen Form mit begrenztem Wirkungsgrad zu einem höchst wirksamen komplexen Prozeß entwickelt haben mag. Wir können lediglich einige Hypothesen darüber formulieren, wie sich diese Evolution vollzogen haben könnte. Dazu müssen wir die Photosynthese der heutigen Blaualgen näher betrachten.

Rechte Seite: Grüne Blätter in einer Glasvase, die im Licht steht. Die winzigen Bläschen an den Blättern bestehen aus Sauerstoff, der durch den Prozeß der Photosynthese freigesetzt wird.

Der Prozeß der Photosynthese bei Vorhandensein von Chlorophyll läßt sich stark vereinfacht wie folgt darstellen:

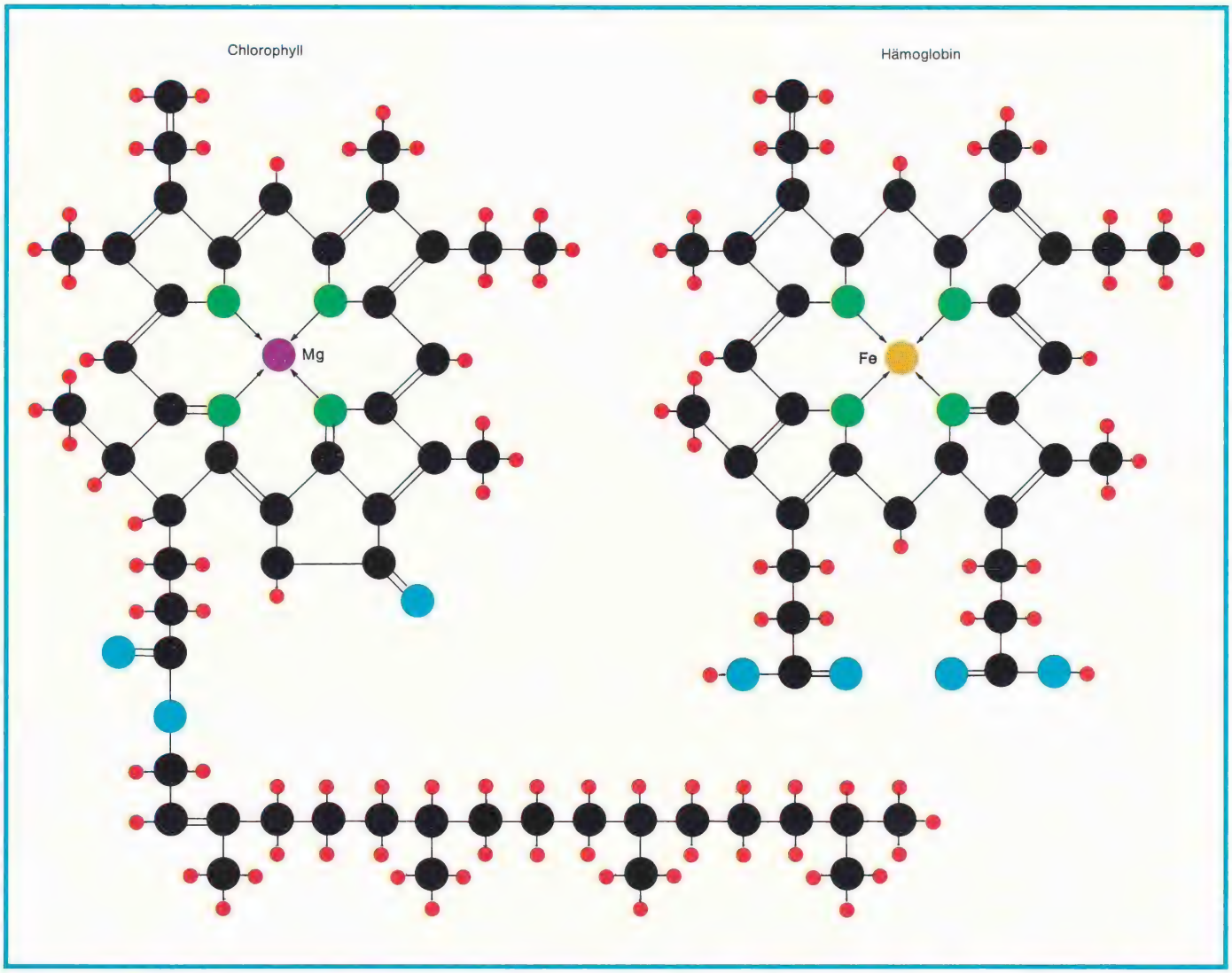
$$6\,CO_2 + 6\,H_2O + \text{Energie} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2.$$

Bei Vorhandensein von Chlorophyll und einer schwachen Energie durch die Sonnenstrahlung bilden also sechs Kohlendioxidmoleküle und sechs Wassermoleküle ein Glucosemolekül und setzen dabei sechs Sauerstoffmoleküle frei. Für die Zwecke unserer Darlegungen genügt diese vereinfachte Formel.

Es lohnt sich jedoch, etwas weiter auszuholen und auf mehrere Einzelheiten einzugehen. Sehen wir uns zunächst einmal die wichtigsten Fortschritte in der jahrhundertealten wissenschaftlichen Forschung an, die zur Erkenntnis der Photosynthese geführt haben. Der flämische Arzt und Naturforscher J. B. van Helmont (1579–1644) versuchte im 17. Jahrhundert als erster mit Hilfe eines experimentellen Ansatzes zu bestimmen, wie lebende Pflanzensubstanz entsteht. Er pflanzte einen vorbereiteten Weidensetzling in einen Topf mit abgewogener Pflanzenerde. Der Weidensetzling wog 5 Pfund. Um die Erde im Topf vor hineinfallendem Staub zu schützen, bedeckte er die Topföffnung mit einem eisernen Deckel. Van Helmont goß die Pflanze jeden Tag. Nach ein paar Jahren wog er die Pflanzenerde und die Pflanze erneut. Das Gewicht der Erde war ein wenig geringer (um 2 Unzen); das Gewicht der Pflanze hatte um 159 Pfund und 3 Unzen zugenommen. Hieraus schloß er, daß die lebende Pflanzensubstanz, die für die Gewichtszunahme verantwortlich war, nur aus dem Wasser entstanden sein könne, daß sich also Wasser in Holz verwandelt habe. Heute wissen wir, daß er nur teilweise Recht hatte, weil sich diese Stoffe eben nur zum Teil durch Wasser bilden.

Andere Leute beobachteten, daß Pflanzen zum Leben und Wachsen Licht benötigen, doch niemand begriff die Verbindung zwischen Licht und der Produktion von lebender Substanz. Im Jahre 1784 kam Joseph Priestley, ein englischer Arzt und Chemiker, auf den Gedanken, daß alle Verbrennungs- und Atmungsprozesse auf unserem Planeten eigentlich die Luft völlig ungenießbar machen müßten, genauso wie eine Maus nicht atmen kann, wenn sie unter einer Glasglocke gefangen gehalten wird, in der eine Kerze schon eine Zeitlang gebrannt hat. Priestley glaubte, daß es eine Art „Luftreinigung" geben müsse und daß das Meerwasser dafür verantwortlich sei, doch konnte er die Luft nicht dadurch reinigen, daß er Wasser mit einem hohen Kohlendioxidgehalt mischte und umrührte. Priestley stellte die Hypothese auf, daß das Pflanzenreich in diesem Prozeß der „Wiederherstellung" der Luft eine wichtige Rolle spiele. Um dies zu beweisen, führte er ein einfaches, jedoch höchst bedeutsames Experiment durch. Er zündete eine Kerze an und stülpte eine Glasglocke darüber. Unter eine andere Glasglocke setzte er ein Maus. Nach einer gewissen Zeit ging die Kerze aus, und auch der Maus wurde die Luft knapp. Wenn man jedoch unter die Glasglocken eine Pfefferminzpflanze setzte, brannte die Kerze weiter bzw. die Maus konnte wieder atmen. Obwohl seine Ergebnisse in Zweifel gezogen wurden, kam Priestley zu dem Schluß, daß die Pflanzen „die Auswirkung der Atmung umkehrten", d. h. daß die Tiere etwas ausscheiden würden, was die Atmosphäre vergiftete, und daß die Pflanzen die Luft reinigten (Ersetzung eines Kohlendioxidmoleküls durch ein Sauerstoffmolekül), indem sie etwas daraus entfernen würden. Später wurde nachgewiesen, daß dieser Vorgang nur in Gegenwart von Sonnenlicht stattfinden konnte.

Eine Weide, eine Maus, eine Pfefferminzpflanze



Wir machen ein Experiment

Mit einem sehr einfachen Experiment läßt sich nachweisen, daß Pflanzen Kohlendioxid aufnehmen und Sauerstoff produzieren. Wenn man einen grünen Zweig mit Blättern in eine Schüssel mit gut durchlüftetem Wasser (das zuvor gut umgerührt wurde) hineinlegt und diese Schüssel dem Sonnenlicht aussetzt, kann man sehen, wie kleine Gasbläschen an den Blättern und dort austreten, wo der kleine Zweig von der Pflanze abgeschnitten wurde. Wenn man einen Schirm zwischen die Schüssel und das Sonnenlicht schiebt, gehen diese Bläschen zurück. Fängt man die Bläschen in einem Röhrchen auf und hält dann in dieses ein glimmendes Streichholz, so flammt das Streichholz auf. Da wir wissen, daß ein Feuer nur brennt, wenn Sauerstoff vorhanden ist, müssen wir annehmen, daß der Zweig im Sonnenlicht Bläschen aus Sauerstoff abgeschieden hat. Erfolgreich wird dieses Experiment jedoch nur dann verlaufen, wenn man Zweige mit grünen Blättern nimmt. Pflanzenteile ohne Grün, wie z.B. die Wurzeln, produzieren keinen Sauerstoff und verbrauchen kein Kohlendioxid. Dies veranschaulicht die wichtige Rolle, die das Chlorophyll oder „Blattgrün" spielt.

Oben: Das Chlorophyllmolekül, das ein Magnesiumatom in seinem Kern hat, und das Hämin, das Bestandteil des Hämoglobins im menschlichen Blut ist und ein Eisenatom in seinem Kern hat. Die Ähnlichkeit zwischen den beiden grundlegenden Molekülen – dem pflanzlichen Chlorophyll und dem tierischen Hämoglobin – liegt auf der Hand.

Das Chlorophyll

Lange Zeit versuchten die Wissenschaftler erfolglos, das Phänomen der Aufnahme von Kohlendioxid und der Freisetzung von Sauerstoff mit Chlorophyllösungen nachzuahmen. Doch wirkt das Chlorophyll nur in seinem natürlichen und unversehrten Zustand innerhalb einer Zellstruktur, die *Chloroplast* genannt wird. Man glaubt, daß die Rolle, die das Chlorophyll bei der Photosynthese spielt, z.T. von der Anordnung der Chlorophyllmoleküle in gestapelten Scheibchen innerhalb der Chloroplasten abhängt, die „Körnchen" („Grana") genannt werden.

Das einzelne Chlorophyllmolekül ist flach und besteht aus vier Ringen von Kohlenstoff- und Stickstoffatomen, die in der Mitte durch ein Magnesiumatom verbunden sind. Ein Chloroplast enthält auch andere Pigmente, die *Karotinoide* genannt werden und die vielleicht bei der Übertragung der Energie auf das Chlorophyll eine Rolle spielen. Karotinoidmoleküle sind im Grunde Kohlenstoffketten, die sich wie „Schwänzchen" an die Chlorophyllmoleküle anhängen. Innerhalb eines Körnchens sind bis zu 250 der flachen Chlorophyllmoleküle ungefähr wie Münzen aufeinander gestapelt (ein einziger Chloroplast kann 40–60 Körnchen enthalten). Diese komplizierte Struktur kann nur mit Hilfe eines Elektronenmikroskops sichtbar gemacht werden. Die wirksamen Strukturen sind nicht die einzelnen Moleküle, sondern die kleinen Säulchen von Molekülen innerhalb der Körnchen. Dies trägt dazu bei, zu erklären, warum eine Chlorophyllösung, die man dadurch erzielt, daß man Blätter zerstampft und sie mit Wasser vermengt, weder Kohlendioxid aufnimmt noch Sauerstoff abgibt. Durch das Zerstampfen werden die Chloroplasten zerquetscht und die kleinen Säulchen zerstört. Heute ist es mit Hilfe fortgeschrittener Techniken der Zellchirurgie möglich, die Chloroplasten aus einer Zelle herauszulösen und dann einen Chloroplastenkomplex aufzubauen. Diese Chloroplasten werden dabei zwar unvermeidlich beschädigt, funktionieren jedoch immer noch, wenn auch nicht mit voller Wirkung.

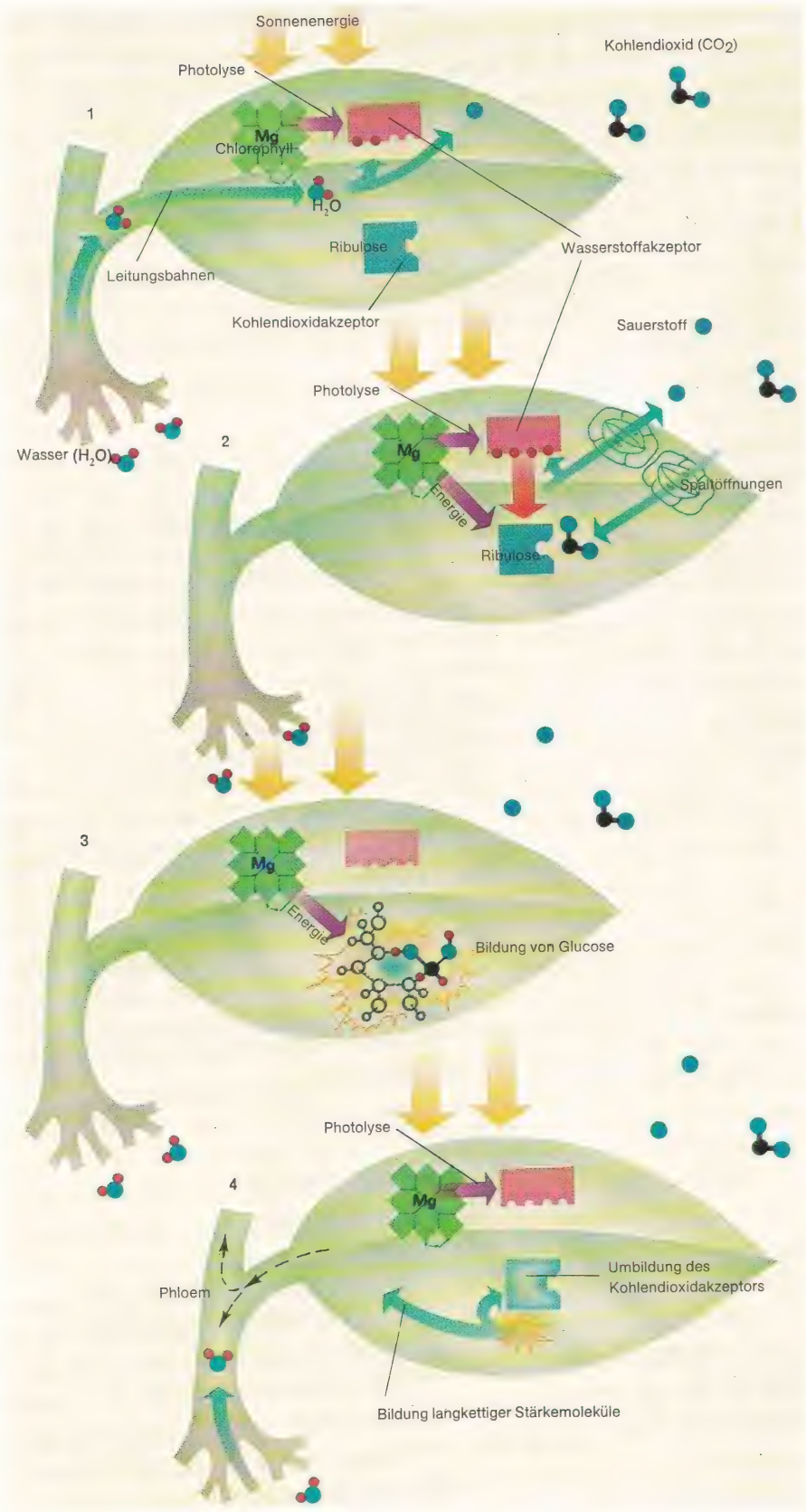
Das Kohlendioxid, das absorbiert wird, wird als Baustein für Glucose festgelegt (diese kann dann zu Polysacchariden polymerisiert werden), doch gibt die chemische Gleichung, die wir weiter oben zitiert haben, nur das allgemeine Gesamtergebnis der Photosynthese wieder. In Wirklichkeit ist sie eine äußerst komplexe Reaktion, die sich in drei grundlegende Phasen zerlegen läßt.

Die Phasen und Produkte der Photosynthese

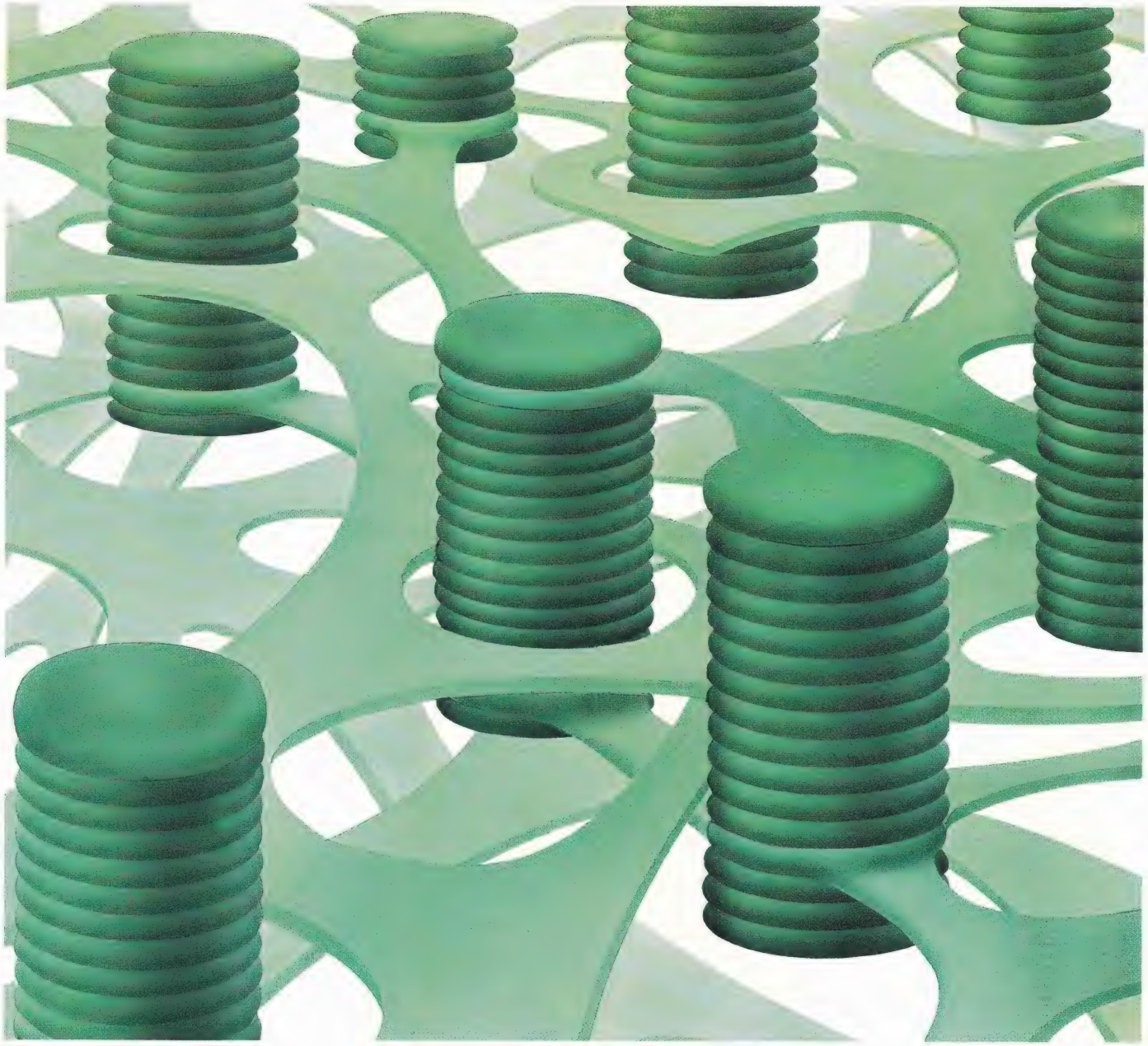
Die *erste Phase,* welche Licht erfordert *(Lichtreaktion),* besteht aus der *Photolyse* (chemische Zerlegung mit Hilfe von Licht) des Wassermoleküls. Mit Hilfe der Lichtenergie gibt das Wassermolekül (H_2O) sein Sauerstoffatom (O) frei und gibt die zwei Wasserstoffatome (H_2) an eine bestimmte Substanz ab, die als *Wasserstoffempfänger* dient. Das Chlorophyll wirkt in dieser Phase ein, wenn auch seine Rolle noch nicht restlos geklärt ist. Manche Wissenschaftler meinen, daß Chlorophyll insofern als „Energiespeicher" wirke, als es die Lichtenergie einfängt und sie dann langsam an das Wasser abgibt, wobei dieses photolysiert wird. Andere sind der Meinung, daß die Chlorophyllmoleküle ein Transportmittel für die Wasserstoffatome darstellen, wenn diese das Wassermolekül verlassen und sich in Richtung auf den Wasserstoffempfänger bewegen.

Die *zweite Phase* spielt sich im Dunkeln ab *(Dunkelreaktion);* sie bezieht sich auf das Einbauen des Kohlendioxids, das von einer anderen

Linke Seite: Das Chlorophyll der grünen Pflanzen ist eine Voraussetzung für die Existenz der Organismen. Der abgebildete Mammutbaum wird Jahrtausende alt.



Der Prozeß der Photosynthese: Zur ersten Phase dieses Prozesses gehört die Photolyse (chemische Aufspaltung durch Licht) von Wassermolekülen (H_2O). Mit Hilfe der Lichtenergie, die auf das Chlorophyll einwirkt, setzen die Wassermoleküle, die von der Wurzel aus ins Blatt gelangt sind, ihr einzelnes Sauerstoffatom in die Luft frei und geben ihre zwei Wasserstoffatome an eine Substanz ab, die als „Wasserstoffempfänger" bezeichnet wird. In der zweiten Phase dringt das Kohlendioxid (CO_2) durch die Spaltöffnungen in das Blatt ein, während immer noch Sauerstoff ausströmt, und wird an einen Kohlendioxidempfänger gebunden, welcher den Wasserstoff vom Wasserstoffempfänger erhält. Als Ergebnis davon wird in der dritten Phase Zucker produziert, der zum Teil in Form von Stärke in die Speicherzellen hinabsteigt, zum Teil auch in der vierten Phase den Kohlendioxidempfänger wiederherstellt, wenn die Photolyse wieder von vorn anfängt.

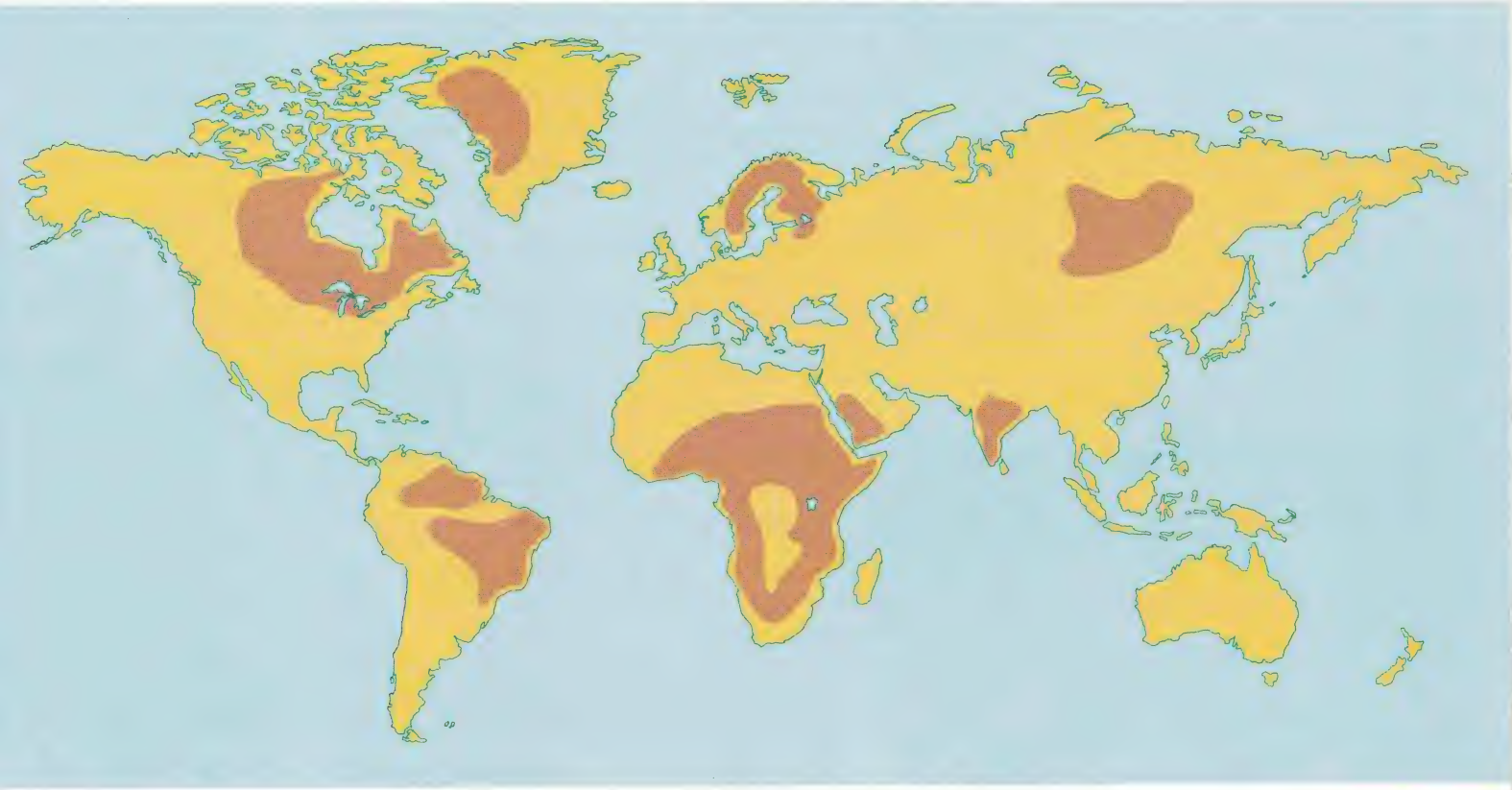


Die Chloroplasten könnte man als Säulchen aus Münzen oder kleinen Scheiben beschreiben, die durch die Lamellenstruktur des Stromas zusammengehalten werden.

chemischen Substanz festgehalten wird, die als *Kohlendioxidempfänger* bezeichnet wird.

Während der *dritten Phase* reagieren die Moleküle des Kohlendioxidempfängers – die bereits mit Kohlendioxid verbunden sind – auf das Wasser und erhalten Wasserstoff vom Wasserstoffempfänger. (Durch diesen Prozeß wird der Wasserstoffempfänger wiederhergestellt und nimmt seine Funktion erneut auf.) Später bildet sich Zucker, und auch der Kohlendioxidempfänger erhält seine ursprüngliche Form zurück.

Diese drei grundlegenden Phasen der Photosynthese setzen sich wiederum aus komplizierten Umwandlungen und komplexen Schritten zusammen, die zur Speicherung von Energie führen; die Energie wird



Die ältesten Fossilien von Blaualgen stammen aus dem Präkambrium. Auf dieser Weltkarte, die die Kontinente in ihrer heutigen Form wiedergibt, sind die Felsformationen aus dem Präkambrium dunkelrot eingezeichnet.

dann schrittweise je nach Bedarf abgegeben. Diese Beschreibung ist recht oberflächlich, die entscheidenden Vorgänge werden jedoch gleichwohl deutlich: In der ersten Phase erfolgt die Photolyse von Wasser unter Freisetzung von Sauerstoff, in der zweiten die Aufnahme von Kohlendioxid und in der dritten die Synthese von Glucose.

Wir haben diese Beschreibung aus zwei Gründen gegeben: erstens, um völlig klarzustellen, daß der im Prozeß der Photolyse freigesetzte Sauerstoff nicht derselbe Sauerstoff ist, der dem Kohlendioxid entnommen wird, sondern daß er vielmehr aus dem Wasser stammt; zweitens, was noch wichtiger ist, um zu veranschaulichen, daß die Photosynthese, wie wir sie heute kennen, in Anbetracht der Komplexität des Prozesses offensichtlich nicht plötzlich entstanden sein kann. Sie muß sich allmählich entwickelt haben, ausgehend von viel einfacheren Reaktionen, die vom Standpunkt der Energienutzung weitaus weniger günstig waren.

Die Blaualgen, die häufig als einfache oder primitive Organismen bezeichnet werden, sind in Wirklichkeit gar nicht so einfach, da sie in der Lage sind, derart komplexe Reaktionen zu vollziehen. Auch sind sie nicht primitiv, sondern stellen wahrscheinlich das letzte Stadium in einer langen Reihe von Evolutionsstufen dar, von denen fast alle anderen Spuren verlorengegangen sind. Wenn wir von Ablagerungen verkieselter Blaualgen sprechen, die 3 Milliarden Jahre alt sind, haben wir keinen stichhaltigen Grund für die Annahme, daß diese Blaualgen mit den Blaualgen von heute identisch sind. Vermutlich vollzogen Blaualgen aus der Zeit vor 3 Milliarden Jahren ihre Photosynthese auf eine einfachere

und andere Art und Weise und machten das so lange, bis sich ganz zufällig komplexere und wirksamere Photosyntheseformen entwickelt hatten, die sich im Daseinskampf als vorteilhaft erwiesen.

Möglicherweise ergab sich eine ähnliche Reihe von Evolutionsphasen in der Entwicklung der bereits erwähnten Bakterien, die zur Gewinnung von Energie Schwefelwasserstoff, Eisen und Stickstoff benutzen. Hier stehen wir vor einigen unbeantworteten Fragen. Handelt es sich um dieselbe Evolutionskette, die sich jedoch an abweichende Lebensbedingungen angepaßt hat? Oder wiederholte sich dieselbe Erfindung mehrmals unter verschiedenen Lebensbedingungen, und hatte sie jedesmal deswegen Erfolg, weil es sich um eine leistungsfähigere Erfindung handelte?

Eine weitere Erfindung zur Vermeidung der Hungersnot: die Atmung

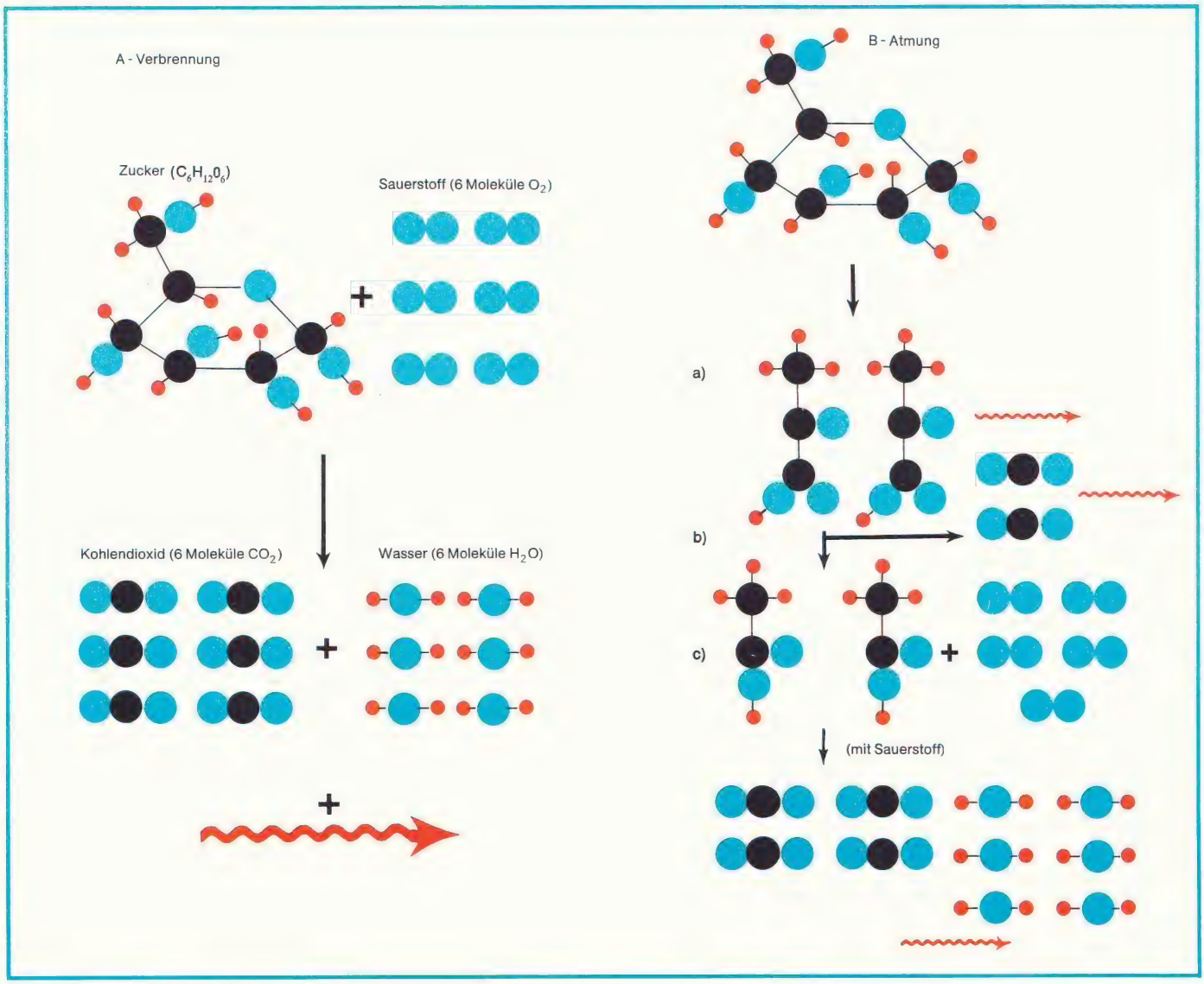
Die Blaualge ist nicht nur (dank der Photosynthese) autotroph, sondern sie ist auch ein aerober Organismus und gewinnt ihre Energie durch Atmung (Respiration), d. h. durch die Oxydation oder langsame Verbrennung von Glucose. Wenn man es streng schematisch nimmt, sind die chemischen Reaktionen der Atmung denen der Photosynthese ähnlich; sie verlaufen jedoch in umgekehrter Richtung und lassen sich formelhaft wie folgt beschreiben:

$$C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 \rightarrow 6\,CO_2 + 6\,H_2O + \text{Energie}.$$

Ein Glucosemolekül reagiert also mit sechs Sauerstoffmolekülen, wobei sechs Kohlendioxidmoleküle, sechs Wassermoleküle und Energie entstehen.

Auch hier ist die Sache nicht so einfach, wie das auf den ersten Blick zu sein scheint. Wenn die Atmung in Lebewesen wie in der oben beschriebenen Reaktion vonstatten ginge, würde sich in ihnen eine derartige Hitze entwickeln und ausbreiten, daß sie sofort zu Tode kämen. Wir können zum Beispiel sagen, daß „das Auto dadurch fährt, daß es Benzin verbrennt", doch ist diese Erklärung zu simpel. Wenn jemand ein brennendes Streichholz in den Benzintank eines Autos werfen würde, würde das Benzin ebenfalls brennen, das Auto würde jedoch nicht fahren. Statt dessen würde es mit einer Stichflamme explodieren. Wenn man also sagt, daß der Organismus beim Stoffwechselprozeß der Atmung Glucose „verbrennt", ist dies genauso übertrieben vereinfacht, wie wenn man sagt, daß das Auto Benzin verbrennt, wenn es fährt. Wir müssen vielmehr analysieren, wie der Treibstoff verbrennt – wie seine thermische Energie allmählich freigesetzt und in mechanische Energie umgesetzt wird, statt in einer einmaligen Explosion freigesetzt zu werden, die das Auto vernichten würde.

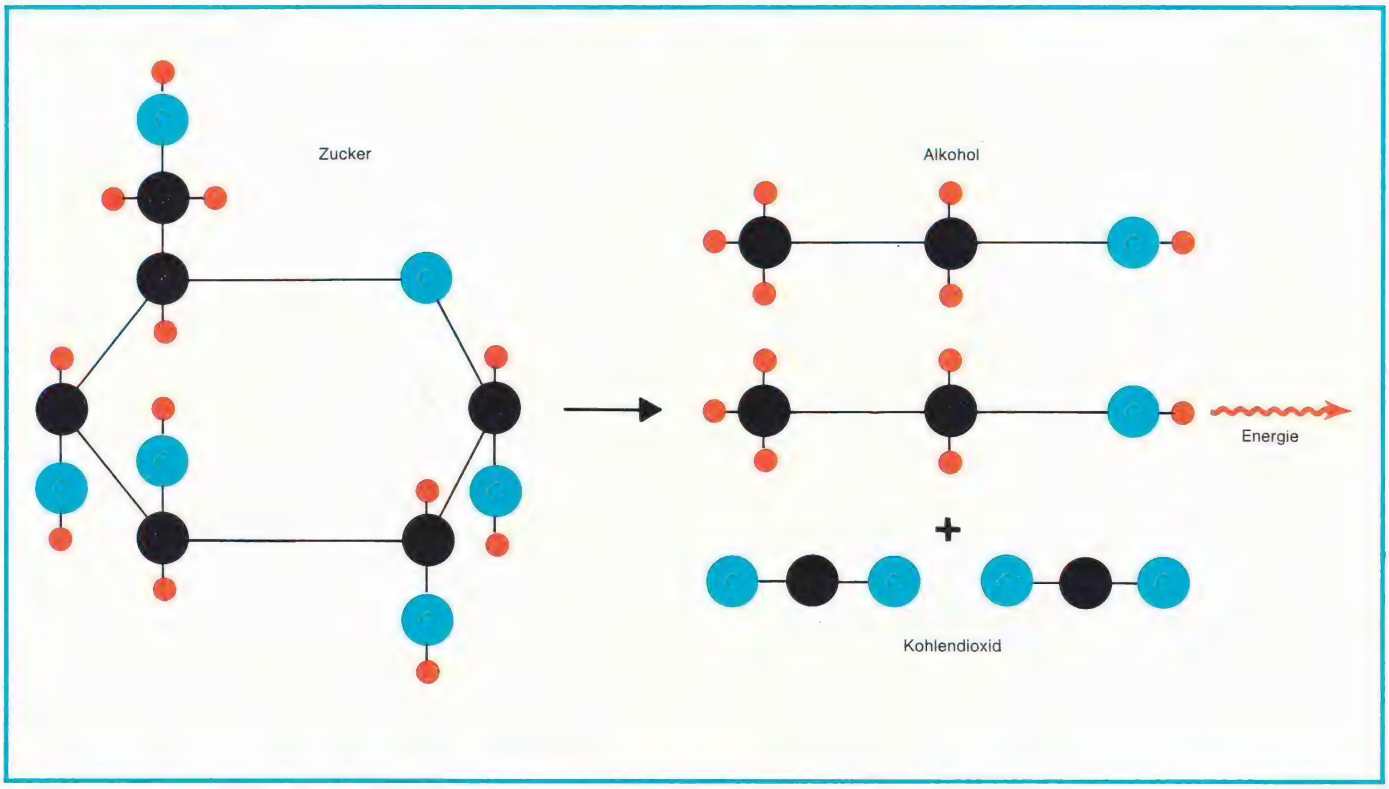
Genau wie bei der Photosynthese lohnt es sich für uns, einen Augenblick innezuhalten und uns den heutigen Mechanismus der Atmung anzusehen, eine Sache, die alle aeroben Organismen und auch die „primitiven" Blaualgen gemeinsam haben. Die *Glykolyse* oder die Aufspaltung des Zuckers ist ein Prozeß, durch den Energie aus Glucose gewonnen wird; die *aerobe Glykolyse* findet in Gegenwart von Sauerstoff statt (Atmung). Unter bestimmten Bedingungen ist der erste Schritt der aeroben Glykolyse derselbe wie der erste Schritt bei der anaeroben Glykolyse. Er besteht aus einer ansatzweisen Gärung oder einer *Milchsäuregärung,* in der ein Zuckermolekül, das sechs Kohlenstoffatome besitzt, in zwei Milchsäuremoleküle mit je drei Kohlenstoffatomen aufgespalten wird. Dieser einfache Prozeß setzt 7,5 % der Energie frei,



die das Glucosemolekül abgeben kann. Wir können mit einiger Sicherheit davon ausgehen, daß dieser Mechanismus unter den ersten lebenden Organismen in Gebrauch war, als sie die in der „Ursuppe" enthaltenen Zuckerbestände in sich aufnahmen.

Wir sagen „mit einiger Sicherheit", weil diese Reaktion einfach ist und auch heute noch stattfindet. Außerdem wollen wir uns ins Gedächtnis rufen, daß der Mensch und die übrigen Wirbeltiere bei starker körperlicher Beanspruchung, wenn die Sauerstoffversorgung durch verstärkte Lungen- und Herztätigkeit nicht ausreicht, die Energie für die Muskelkontraktionen durch die Spaltung von Glucose in zwei Milchsäuremoleküle gewinnen. Dieser ziemlich verschwenderische Verbrauch von Zucker zur raschen Energieerzeugung erweist sich dann als wirtschaftlich, wenn die Sauerstoffversorgung wieder normal und die Milchsäure abgebaut wird. Der Vorgang ist als „Eingehen eines Sauerstoffdefizits" bekannt.

A: Bei der Verbrennung eines Zuckermoleküls verbindet sich dessen Kohlenstoff rasch mit Sauerstoff, wobei Kohlendioxid und Wasser entstehen und schlagartig Energie freigesetzt wird (großer, roter Pfeil).– B: Beim Stoffwechsel verläuft dieser Prozeß langsamer. Zunächst wird das Zuckermolekül (a) in zwei Moleküle mit jeweils drei Kohlenstoffatomen gespalten, wobei ein wenig Energie freigesetzt wird. Dann geben die Moleküle mit drei Kohlenstoffatomen Kohlendioxid und etwas mehr Energie frei (b). Schließlich verbinden sich die Moleküle mit den beiden restlichen Kohlenstoffatomen (an die Sauerstoff gebunden ist), wobei sie immer noch allmählich Energie abgeben (c). Dadurch kann die im Zucker gespeicherte Energie genutzt werden.



Darstellung der alkoholischen Gärung. Ein Zuckermolekül erzeugt zwei Moleküle Äthylalkohol und zwei Moleküle Kohlendioxid, wobei Energie freigesetzt wird.

Wenn wir seinen vorübergehenden Charakter und seine Dringlichkeit begreifen wollen, können wir uns vorstellen, was geschieht, wenn wir im Taxi nach Hause fahren und das Taxameter fünf Mark anzeigt, wir aber nur einen Fünfzigmarkschein besitzen und der Fahrer nicht wechseln kann. Das ist eine Notlage. Wir wenden uns an den Portier eines Hotels und bitten ihn: „Leihen Sie mir bitte fünf Mark, damit ich das Taxi bezahlen kann!" Es ist nie angenehm, Schulden zu machen, doch ist das in diesem Fall nicht aufregend, da wir kurze Zeit später schon dem Portier sein Geld zurückgeben können, indem wir ihm unseren Fünfzigmarkschein geben und dafür von ihm fünfundvierzig Mark zurückbekommen. Es handelt sich also weniger um ein „Schuldenmachen" als vielmehr um eine kurzfristige Verschiebung der Bezahlung.

Bei anaeroben Organismen (z.B. Gärhefe) geht die Reaktion mit der Bildung von Alkohol und Kohlendioxid unter Fehlen von freiem Sauerstoff weiter. Die aerobe Glykolyse geht in der Regel nicht von der Milchsäurebildung aus, sondern nimmt einen anderen Verlauf.

Die Rolle des Phosphors bei der Gärung und der Atmung

Wenn wir verstehen wollen, welchen Weg die aerobe Glykolyse nimmt, bietet der Prozeß der *Gärung* einen höchst hilfreichen Einblick. An einem bestimmten Punkt ist die *Hefe* erschöpft, und ihre Gärwirkung nimmt ab. Um die Hefe wieder zu „beleben", müssen wir sie mit *anorganischen Phosphaten* versorgen: mit Phosphorverbindungen, die nicht mit Kohlenstoffatomen zusammenhängen. In dem Maße, wie die Hefe wieder auflebt, verschwinden die anorganischen Phosphate; weil nun Materie nicht durch Zauberei verschwindet, liegt es auf der Hand,

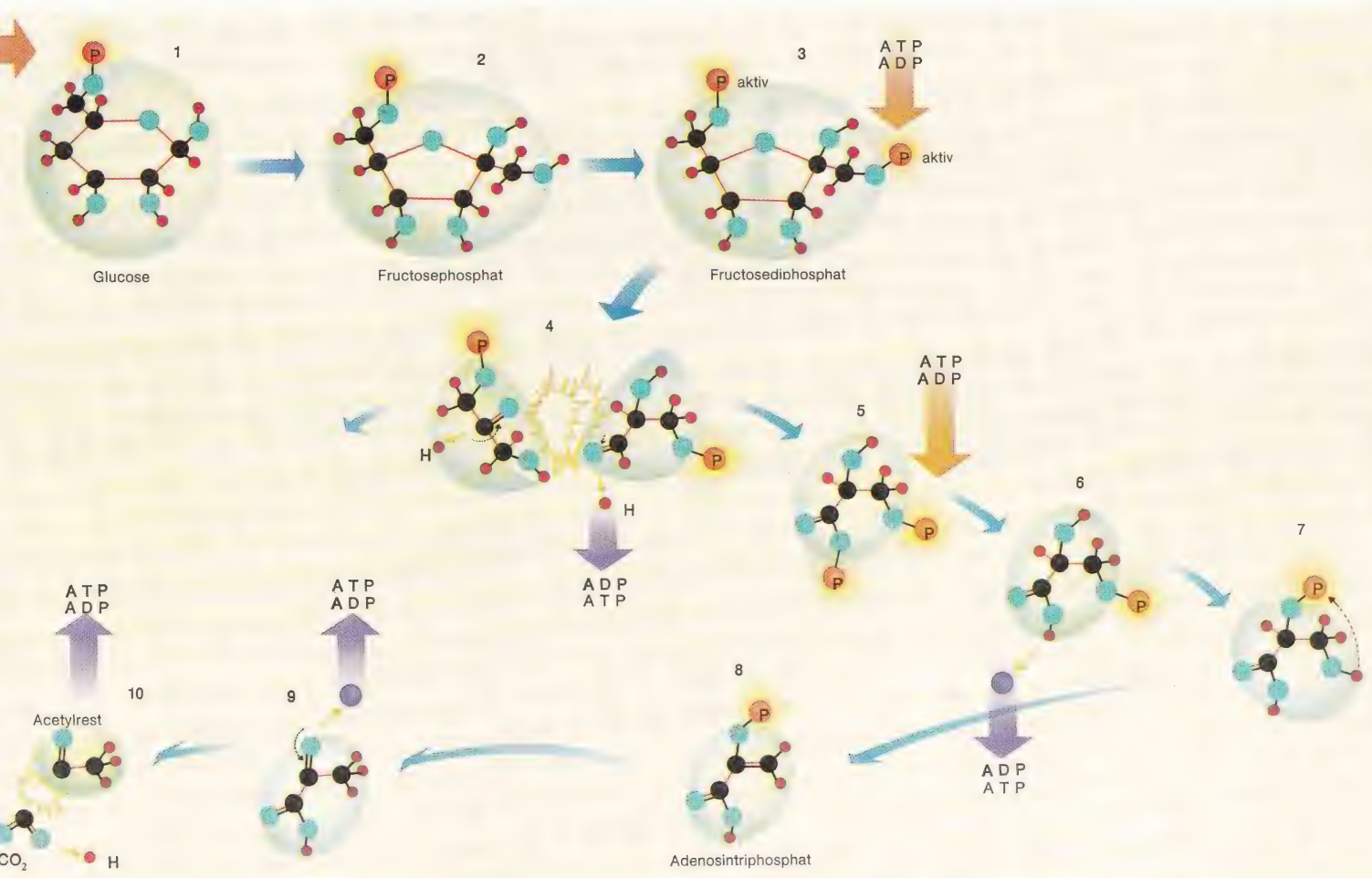
daß der anorganische Phosphor in organischen, also in eine Phosphor-Kohlenstoff-Verbindung, umgewandelt worden ist.

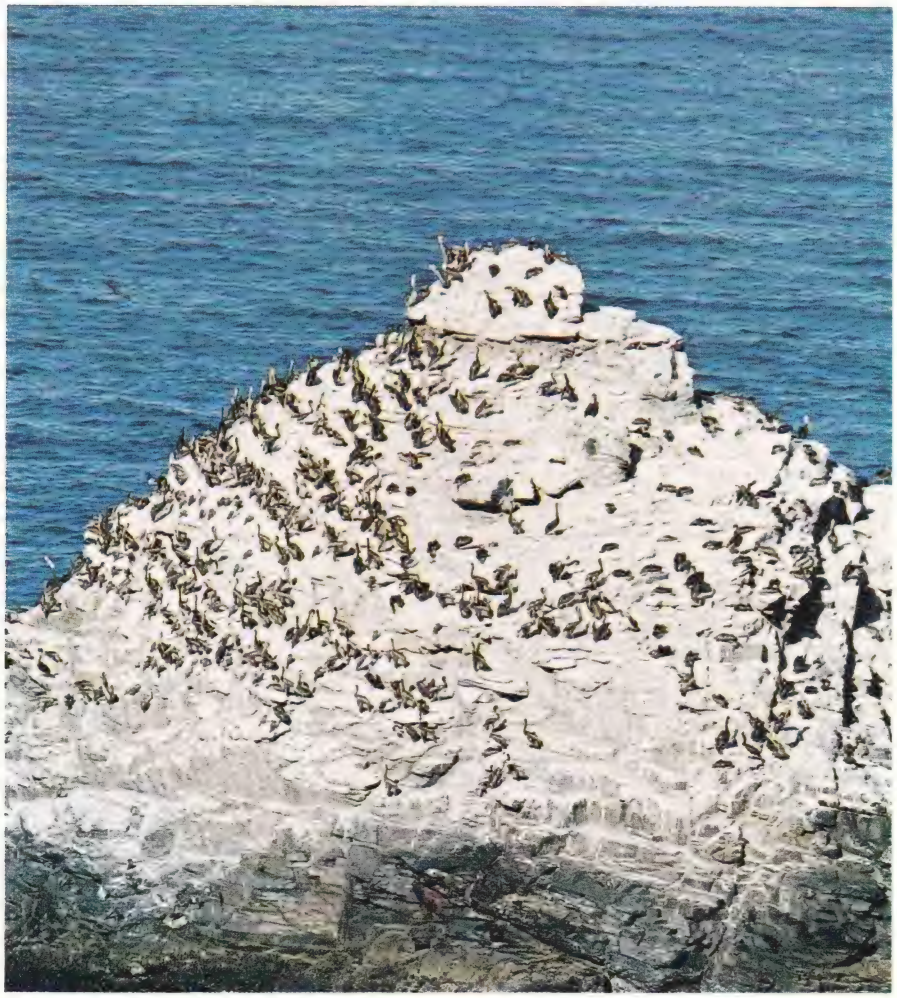
Als dies entdeckt wurde, war es der erste Hinweis darauf, daß organische Phosphate eine wichtige Rolle in den Reaktionen spielen, aus denen Organismen ihre Energie gewinnen. Obwohl man die Beobachtung bei der Gärung machte, erwies sie sich auch im Zusammenhang mit der aeroben Glykolyse als gültig. Es stellte sich nämlich heraus, daß alle biologischen Energieübertragungen das Ergebnis der Umwandlung von *ATP* (Adenosintriphosphat – eine Säure mit drei Phosphaten) in *ADP* (Adenosindiphosphat – eine Säure mit nur zwei Phosphaten) sind bzw. umgekehrt der Umwandlung von ADP in ATP.

Im ersten Teil des aeroben Glykolyseprozesses verwandelt sich ein ATP-Molekül dadurch in ein ADP-Molekül, daß es einen Phosphatrest an ein Glucosemolekül verliert. Ein anderes ATP-Molekül tut dasselbe, wobei ein Zuckermolekül mit zwei Phosphatresten gebildet wird. Dieses Molekül mit sechs Kohlenstoffatomen teilt sich dann in zwei Moleküle, von denen jedes drei Kohlenstoffatome und einen Phosphatrest enthält. Jede dieser drei Kohlenstoffverbindungen gibt Wasserstoff an einen Wasserstoffempfänger ab.

Diese Reaktion gibt genügend Energie nicht nur für die Resynthese der zwei ursprünglichen ATP-Moleküle durch Hinzufügung von Phos-

Die Verwendung des Zuckers zur Erzeugung von Energie, die dank dem ATP-ADP-System möglich ist, ist kompliziert, jedoch sehr wirkungsvoll: ATP wird zu ADP, weil ihm die Glucose ein Phosphoratom (P) „stiehlt" (1); die Glucose wird in Fructosephosphat umgewandelt (2), das vollständig symmetrisch wird (3), nachdem es ein weiteres Phosphoratom „gestohlen" und damit ein weiteres ATP-Molekül in ein ADP umgewandelt hat. Die symmetrische Struktur wird in zwei Teile aufgespalten (4), wobei Energie freigesetzt wird; nun wird ADP zu ATP. Das halbierte Molekül stiehlt sich ein weiteres Phosphoratom (5; nochmals wird ein ATP zu ADP) und gibt dann das „Gestohlene" zurück (6 und 7). Es ersetzt zuerst ein Phosphoratom (8), dann noch ein weiteres (9). Das ursprüngliche Molekül hat begonnen sich aufzuspalten (Glykolyse). Es hat dabei einige P-Atome gestohlen (orangefarbene Pfeile), die es jedoch am Ende zurückgibt (violette Pfeile).





Das Leben verändert die Umwelt: Phosphatbedeckte Felsen an den Meeresküsten von Südamerika bilden sich durch die Ablagerung von Guano (Vogelkot), der von Kormoranen und anderen Seevögeln stammt. Im Bild eine Felsklippe im Nationalpark von Concepción, Chile.

phatresten zu zwei ADP-Molekülen ab, sondern auch für die Anbindung von Phosphatresten an zwei weitere ADP-Moleküle, die ebenfalls in ATP-Moleküle umgewandelt werden. So endet diese erste Phase, die mit einem Zuckermolekül und zwei ATP-Molekülen begonnen hat, mit der Bildung von zwei Milchsäuremolekülen (Nebenprodukten der Glucose) und vier ATP-Molekülen. Jedesmal, wenn ein ATP-Molekül in ein ADP-Molekül umgewandelt wird, gibt es ein wenig Energie ab. Die rasche Freisetzung von Energie, die wir auslösen würden, wenn wir Glucose mit einem Streichholz verbrennen würden, wird also in eine Reaktion umgewandelt, in der die Energie allmählich abgegeben wird. Das Auto explodiert nicht, sondern bewegt sich stetig vorwärts.

Stellen wir uns einen Straßenjungen vor, der 2 Zitronen (die wir mit 2 ADP-Molekülen vergleichen wollen) für 20 Pfennig kauft, sie aber für 40 Pfennig verkauft, wodurch er 4 Zehner erhält (die wir mit ATP-Molekülen vergleichen wollen). Nun kann er 4 Zitronen (4 ADP-Moleküle) kaufen usw., Schritt für Schritt. Die Energie, die für dieses einträgliche Tauschgeschäft (das mit dem Prozeß der Umwandlung von ADP- in ATP-Moleküle vergleichbar ist) notwendig ist, wird von dem Straßenjungen gestellt, der auf dem Marktplatz zwischen dem Obststand und den Kunden hin- und herläuft.

Rechte Seite: Wie der Atmungsprozeß stellt auch die Achterbahn einen ständigen Prozeß der Ansammlung von Energie (hinauf) und des Energieverbrauchs (hinab) dar.

Die Energieachterbahn

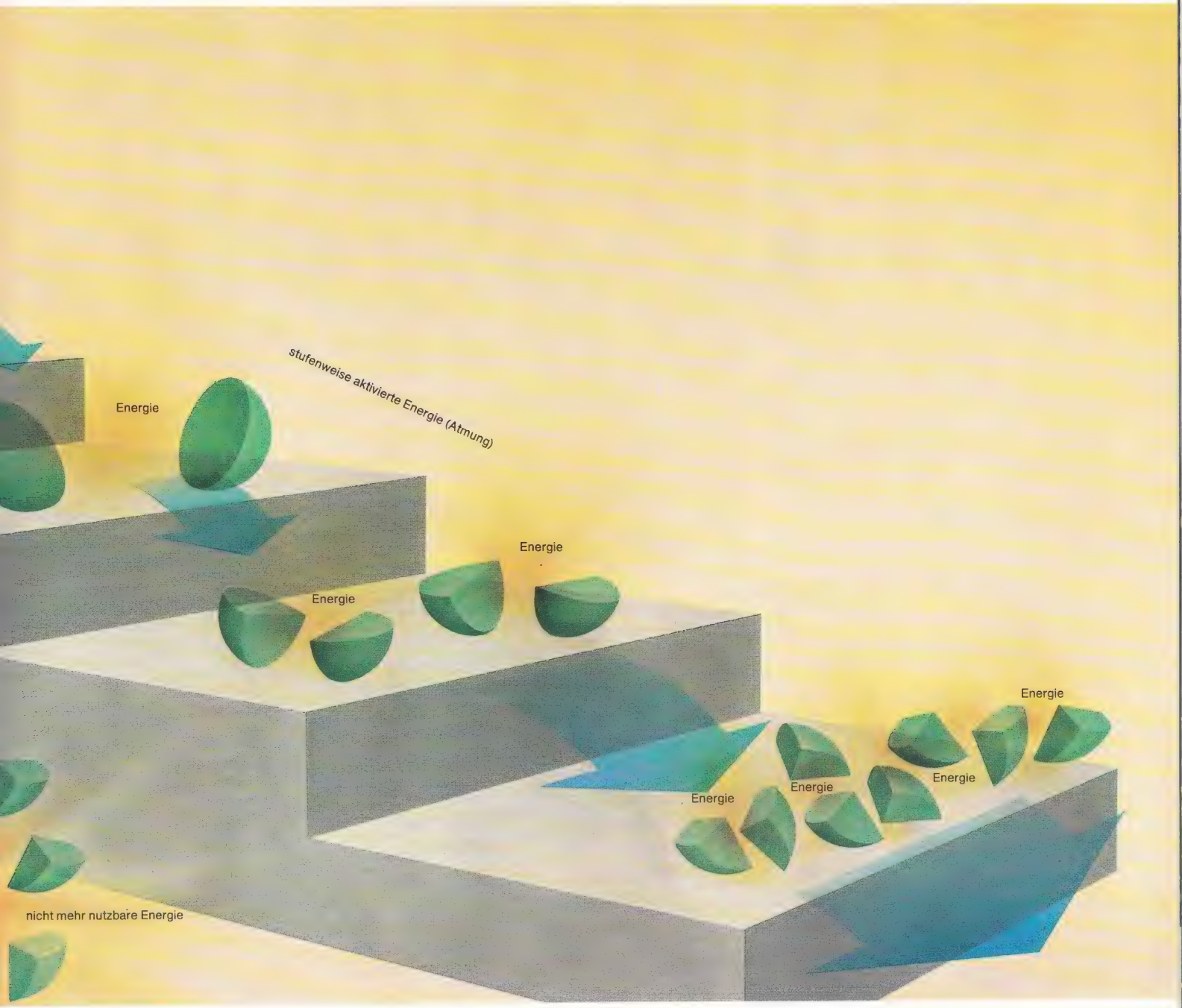
Wenn die Glucose in zwei Milchsäuremoleküle aufgespalten wird, wird die freigesetzte Energie in ATP-Molekülen festgelegt. Die beiden Milchsäuremoleküle werden durch Enzyme stufenweise zu zwei Molekülen *Pyruvat* abgebaut. Auch Pyruvat reagiert und gibt Wasserstoff an den Wasserstoffempfänger ab, löst aber auch die Abgabe von Kohlendioxid (CO_2) aus und geht eine andere Verbindung ein. Diese Verbindung tritt in einen komplexen Zyklus ein, in welchem sie sich mit anderen ähnlichen Molekülen verbindet, die sich aus der Glykolyse von Glucosemolekülen ergeben. Die Verbindungen spalten sich weiterhin auf, wobei sie Wasserstoff an die Wasserstoffempfänger und auf diese Weise gleichzeitig Energie und Kohlendioxid abgeben. Sie verwandeln sich dann wieder in Pyruvatmoleküle und verbinden sich mit anderen Zuckermolekülen, wobei sie Wasserstoff, Kohlendioxid und Energie

Durch Photosynthese wird Glucose hergestellt, die einen Sonnenenergiespeicher darstellt. Wenn die Glucose verbrannt wird (steile Schräge), wird Energie schlagartig freigesetzt; diese Energie kann für den Zweck der Lebenserhaltung nicht genutzt werden. Beim Stoffwechselprozeß der Atmung jedoch wird die Glucose Schritt für Schritt oxydiert, wobei bei jedem Schritt ein wenig Energie freigesetzt wird.

abgeben. Erneut wird das Pyruvatmolekül umgewandelt, und der Prozeß geht weiter mit folgendem Ergebnis:

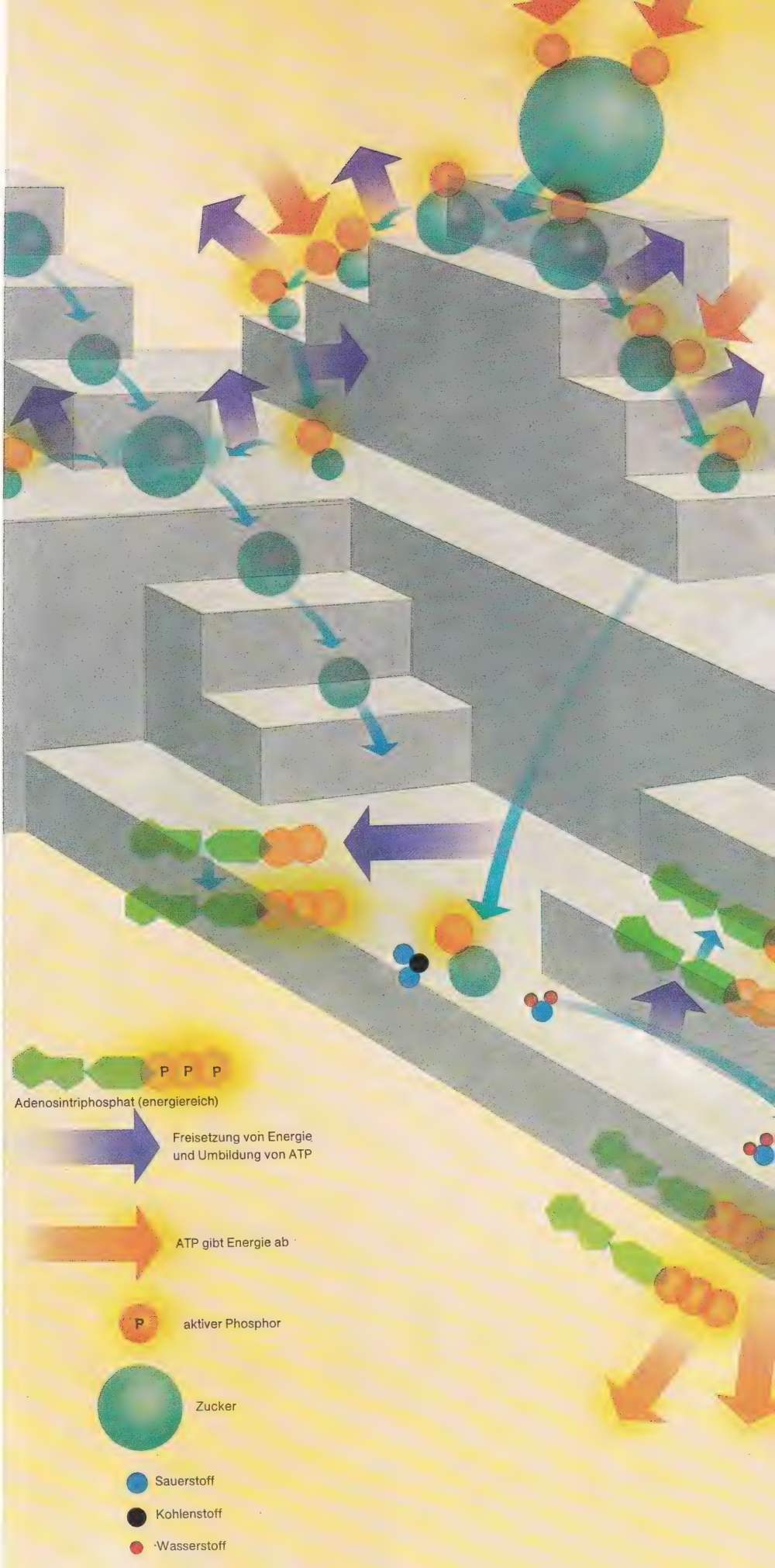
$$C_6H_{12}O_6 + O_2 \rightarrow H_2O + CO_2 + \text{Energie}.$$

Der russisch-amerikanische Biochemiker Isaac Asimov (geb. 1920) verwendet den Begriff „Energieachterbahn", um den Komplex von Energiereaktionen zu beschreiben, die es zustande bringen, daß ein Glucosemolekül sowohl eine bestimmte Menge Energie als auch Wasser und Kohlendioxid abgibt. Es handelt sich um einen Zyklus der Speicherung und Abgabe von Energie in kleinen Schritten, die mit den

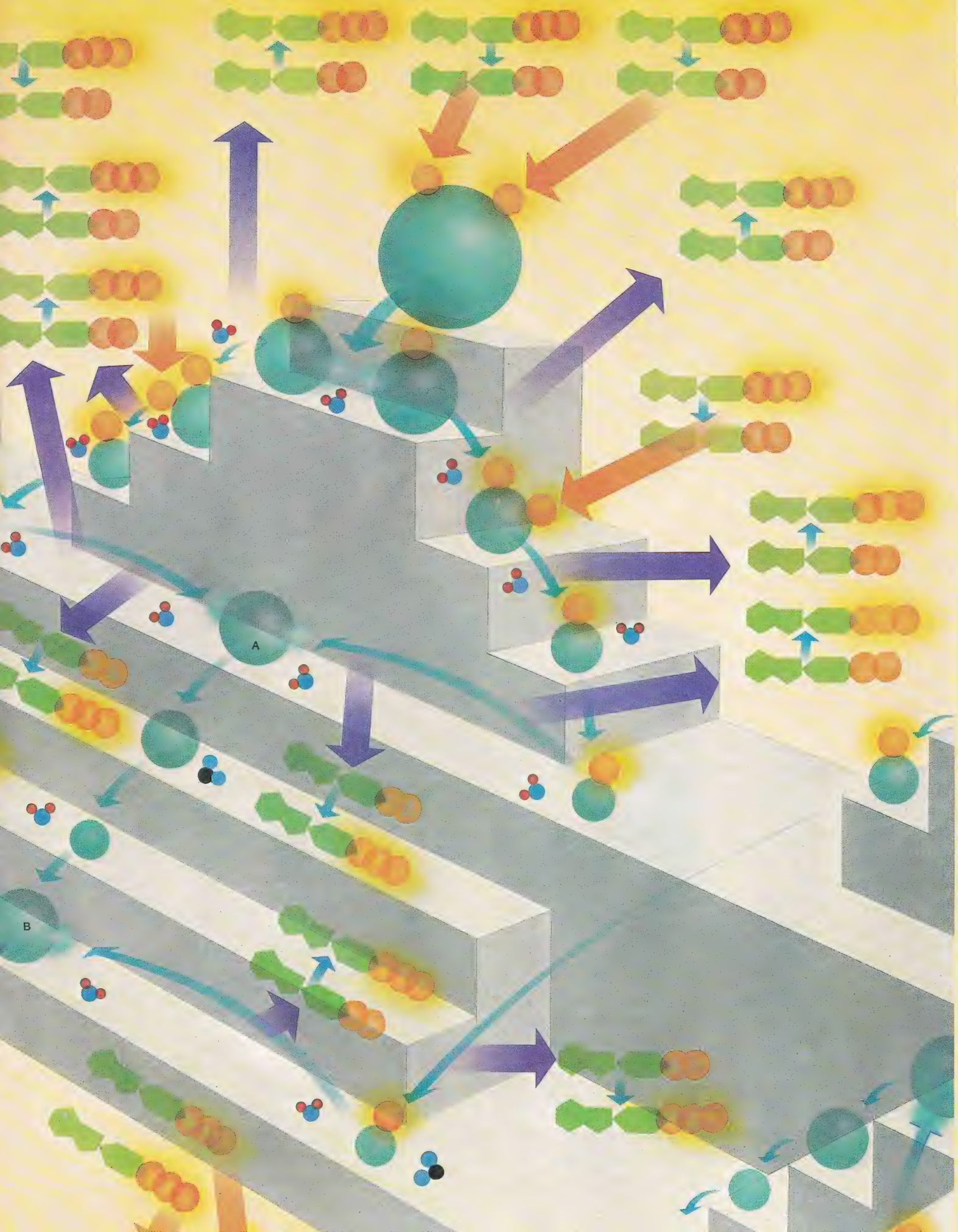


Bedürfnissen des Lebens vereinbar sind, während bei der „Verbrennung" von Glucose auf einen Schlag das Leben vernichtet würde.

Welche Schlußfolgerung können wir nun aus der Untersuchung der innersten Natur der biologischen Freisetzung von Energie oder der biologischen Oxydation ziehen? Auch hier wiederum müssen wir wie im Fall der Photosynthese zugeben, daß wir es mit einem höchst komplexen Mechanismus zu tun haben, der sich nicht schlagartig entwickelt haben kann, sondern vermutlich das Ergebnis einer unendlich langfristigen evolutionären Entwicklung ist.



Dies ist ein Versuch, die Atmung als einen Prozeß der Aufspaltung von Zucker darzustellen, wobei die Energie von ATP geliefert wird, indem sich dieses zu ADP verändert (orangefarbene Pfeile) und die ATP aus ADP wiederhergestellt wird (violette Pfeile). An einem bestimmten Punkt der Aufspaltung fügen sich zwei nutzlose Bruchstücke zusammen (A) und schreiten zur nächsten Aufspaltung fort; weitere Bruchstücke vereinigen sich (B). Auf verschiedenen Stufen werden CO_2 und H_2O zusätzlich neben der Energie freigesetzt. Es handelt sich um einen regelrechten „Energiewasserfall".


A
B

Die Mechanismen des Lebens

Was von den beiden Erfindungen im Archiv des Lebens zurückgeblieben ist

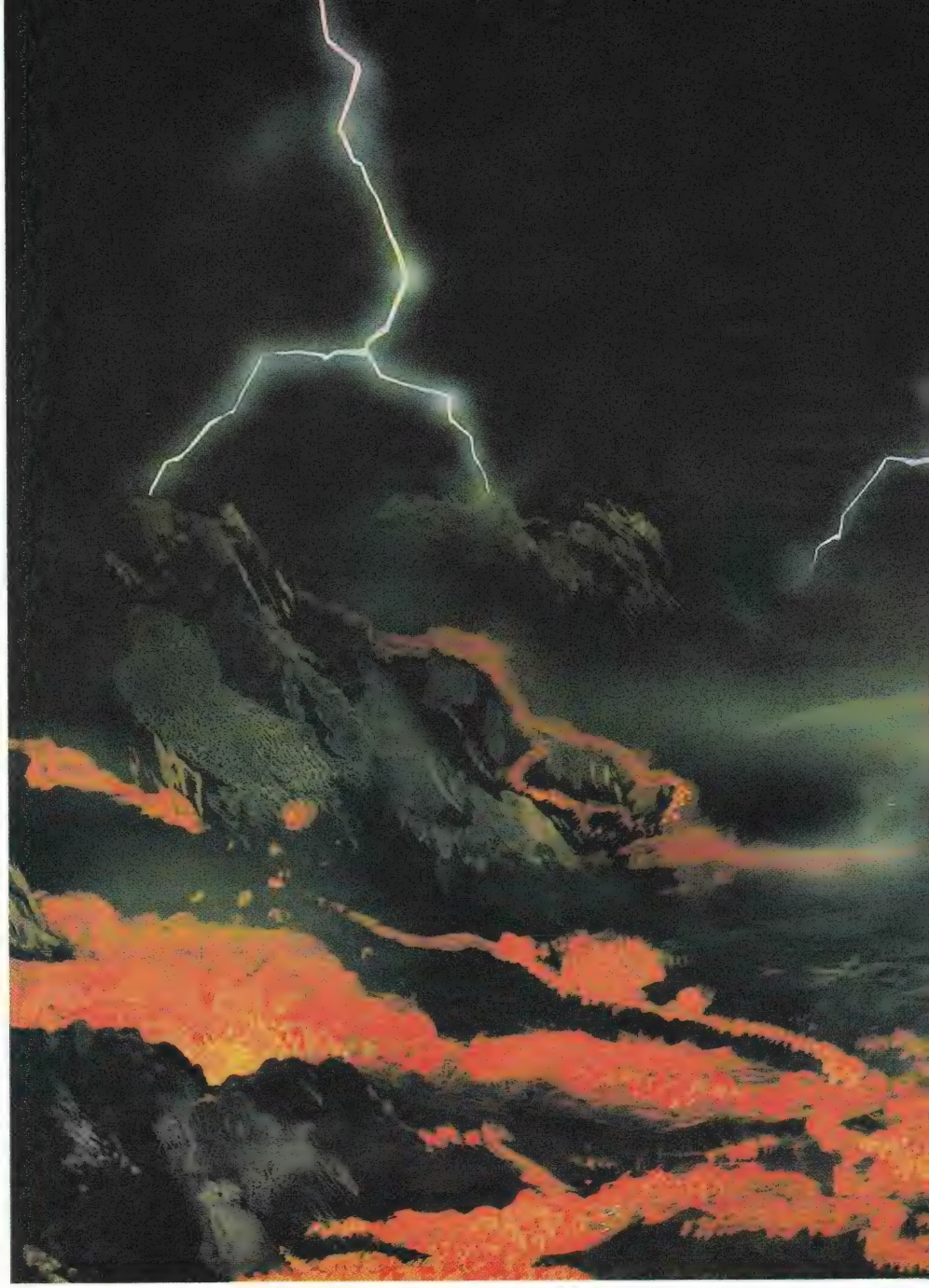
Wir können sagen, daß wir zwar wenig über die Evolution der Photosynthese wissen, doch etwas mehr über die Evolution des umgekehrten Prozesses, der Freisetzung von Energie. Was die Photosynthese angeht, die die Sonnenenergie für die Synthese von Glucose aus Kohlendioxid und Wasser verwendet, verfügen wir nur in bezug auf ihre „heutigen" Regeln über direktes Wissen. Diese Regeln sind für alle grünen Pflanzen die gleichen, ebenso wie in allen grünen Pflanzen das molekulare Labor, in dem die Photosynthese erfolgt, der Chloroplast ist. Mit anderen Worten: Das Chlorophyll ist ein „Endprodukt" in der Evolution, doch kennen wir die einzelnen Evolutionsphasen so gut wie nicht.

Unsere Vorstellungen über die Entwicklung der *Mechanismen zur Freisetzung von Energie* sind allerdings nicht so verschwommen, da wir wissen, daß jedes Glucosemolekül, das von einem aeroben Organismus genutzt wird, eine Entwicklung durchmacht, die sich in drei Phasen unterteilt. Die erste Phase – die Aufteilung des Glucosemoleküls in zwei Teile bei Abwesenheit von Sauerstoff (Glykolyse) – spielt sich sogar bei aeroben Organismen (hier allerdings ohne Einwirkung von Sauerstoff) ab. Daher muß die erste Phase in der Reise des Glucosemoleküls in einem Organismus von heute mit Gewißheit der ersten Phase sehr ähnlich sein, nach der sich ein primitiver Organismus vor 3 Milliarden Jahren richtete. Ebenso sind die heutigen Gärungen vermutlich den Gärungen von vor 3 Milliarden Jahren sehr ähnlich.

Daher gibt es also *zwei Lebensmechanismen:* die Speicherung von Sonnenenergie und die Freisetzung von biochemischer Energie. Im Archiv des Lebens sind nur recht wenige Spuren verblieben, die uns berichten, wie die Systeme zur Speicherung von Energie erfunden wurden; jedoch gibt es mehr Indizien über die Evolution von Systemen zur Energiefreisetzung. In diesem Fall fehlt es unseren Archiven an fossilen Ablagerungen; statt dessen dienen uns die lebenden Organismen, in denen die ersten Phasen eines langwierigen Prozesses jede Minute wiederholt werden, als Datenträger.

Das alles läßt sich in etwa mit einer heutigen Schreinerwerkstatt vergleichen, die mit so modernen Werkzeugen wie elektrischen Sägen

Linke Seite: Der Schwimmer unter Wasser erleidet ein Sauerstoffdefizit, das wieder ausgeglichen werden muß, wenn er an die Oberfläche kommt und wieder Luft holen kann.



Im Urmeer, das von vulkanischer Lava erwärmt und von stürmischen Gewittern verdunkelt wurde, wurde der erste Stoff des Lebens von der Energie gewebt, die der Blitz zur Verfügung stellte. Rechts die grafische Darstellung von Kohlendioxid- und Wassermolekülen.

ausgerüstet ist und in der das Holz zunächst eine erste Behandlung mit ungeschlachten Steinwerkzeugen erfahren muß, bevor es mit verfeinerten Geräten zugeschnitten und genau geformt werden kann. Dies ergab sich nicht aus dem Zufall. Es liegt auf der Hand, daß die primitiven Mechanismen, wenn sie über mehr als 3 Milliarden Jahre hinweg in Organismen funktioniert haben, so vernünftig angelegt waren, daß sie verdient haben zu überleben. Ihr einziger Nachteil war, daß sie der Glucose sehr viel weniger Energie entzogen, als die Glucose zu vergeben hatte (nur 20 kcal statt 686 pro mol Glucose). Eine derartige Vergeudung bei der Verwendung der Glucosemoleküle, die im Urmeer vorhanden waren, verursachte eine Art „ökologische Krise", die das Leben dank zweier Kunstgriffe siegreich bewältigte.

Von einem Gleichgewicht zum anderen

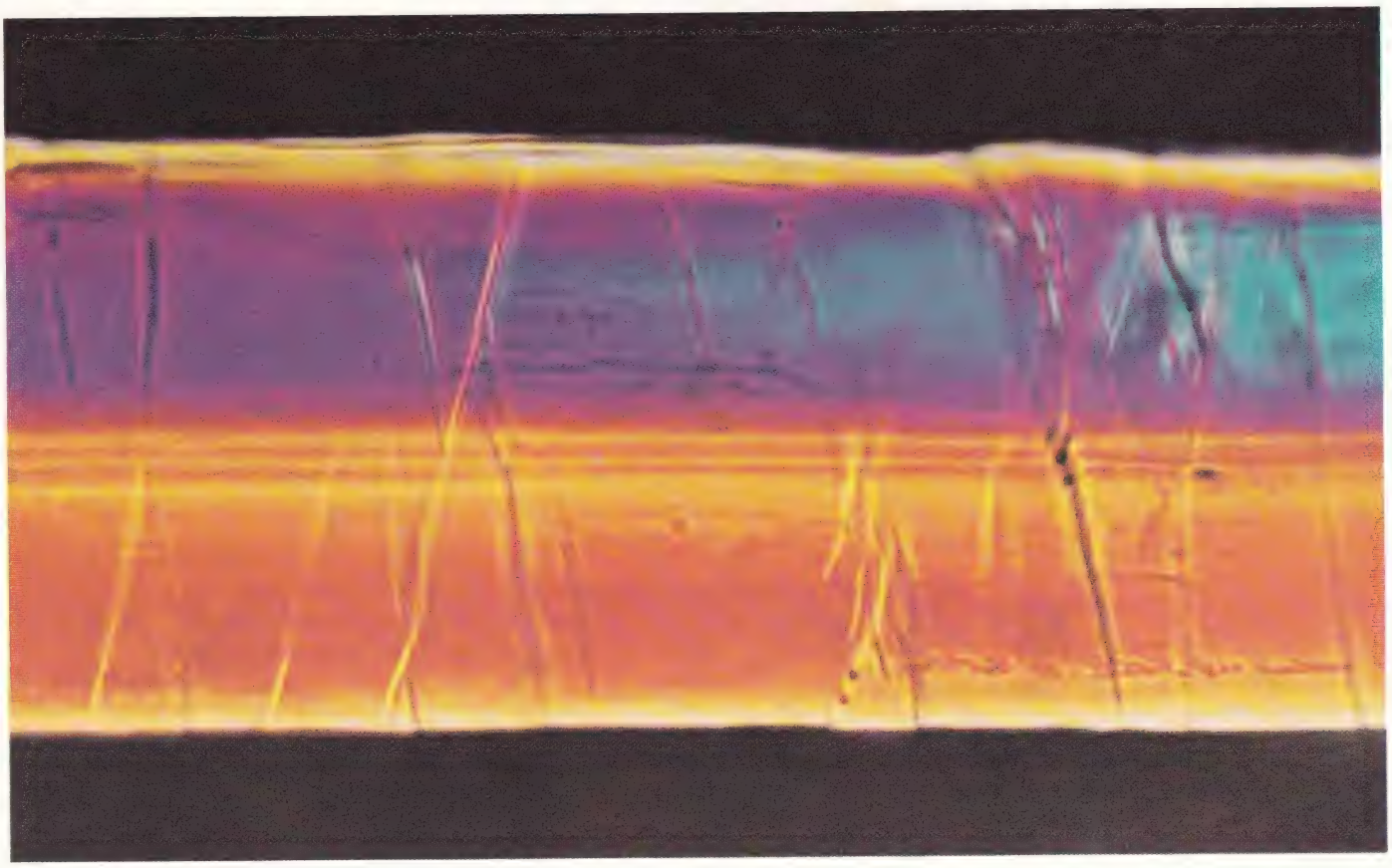
Der erste Kunstgriff – die Photosynthese – wurde durch die Ansammlung von Kohlendioxid in der Atmosphäre ermöglicht, die zum Teil das Ergebnis vulkanischer und verwandter Phänomene, zum Teil auch das Ergebnis der Gärung in der Ursuppe war. Der zweite Kunstgriff – die vollständige biologische Oxydation – wurde dadurch ermöglicht, daß durch die Photosynthese Sauerstoff freigesetzt wurde. Auf diese Weise verstärkten sich die beiden Kunstgriffe wechselseitig und sorgten für ein Gleichgewicht, wobei die Photosynthese Glucose ansammelte, Sauerstoff freisetzte und Kohlendioxid und Wasser verbrauchte, während die biologische Oxydation die Glucose aufspaltete, wobei sie Kohlendioxid und Wasser freisetzte und Sauerstoff verbrauchte. Mit diesem „Trick" muß das Ganze wohl eine Zeitlang im Gleichgewicht gehalten worden

Rechte Seite: Algen, die auf einem Teich schwimmen.

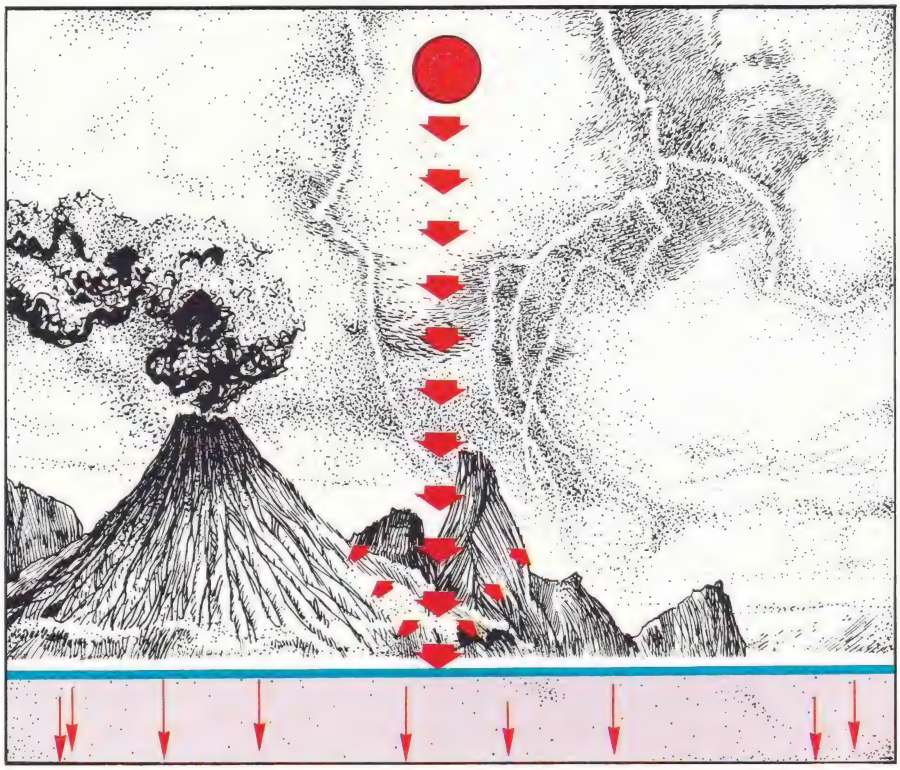
sein, wobei während der lichtlosen Nacht verbraucht wurde, was am Tage mit Hilfe des Sonnenlichts erzeugt wurde. Es drängt sich der Vergleich mit Penelope, der Frau des Odysseus' auf, die für die drängenden Freier am Tag ihr Hochzeitsgewand webte, um es dann nachts wieder aufzutrennen.

Aber dann trat etwas ein, was das Gleichgewicht in Unordnung brachte: Nicht alle Glucosemoleküle, die durch das Zusammenwirken von Sonnenlicht und Chlorophyll erzeugt wurden, wurden zur Energieerzeugung verbraucht. Manche fügten sich zusammen und bildeten komplexe Polymere oder das, was wir heute „Zellulose" nennen, aus der sich der größere Teil der lebenden Pflanzenmaterie zusammensetzt. Neben den mikroskopisch kleinen Algen begannen sich größere Algengebilde in den Ozeanen auszubreiten, die (an Wasserstoff und Sauerstoff gebundenen) Kohlenstoff enthielten. Beim Absterben dieser Algen wurde nun der Kohlenstoff plötzlich dem Kreislauf entzogen. Bis dahin hatte die Bilanz der täglichen „Einnahmen" und „Ausgaben" gestimmt: Wieviel Kohlenstoff am Tag gebunden wurde, so viel wurde bei Nacht wieder freigesetzt. Als aber der Prozeß der Photosynthese im Vergleich zur Oxydation die Oberhand gewann, wurde Kohlenstoff in Form von größeren, autotrophen Organismen „gehortet", die begannen, ihre Abfallprodukte abzulagern (woraus sich dann im Laufe von Jahrmillionen die Kohle- und Erdöllagerstätten bildeten). Zugleich sammelte sich ein Sauerstoffüberschuß (ein Abfallprodukt, für das es keine Verwendung gab) in der Atmosphäre an.

Unten: Die Mikrofotografie einer Flachsfaser in polarisiertem Licht.



Die Ansammlung des Sauerstoffs hatte eine bedeutsame Auswirkung: Es bildete sich eine Ozonschicht (O_3; ein Molekül aus drei Sauerstoffatomen). Zuvor hatten die ultravioletten Strahlen die Oberfläche des Planeten direkt und sehr heftig getroffen; deswegen konnte sich Leben nur unter der Wasseroberfläche entwickeln.

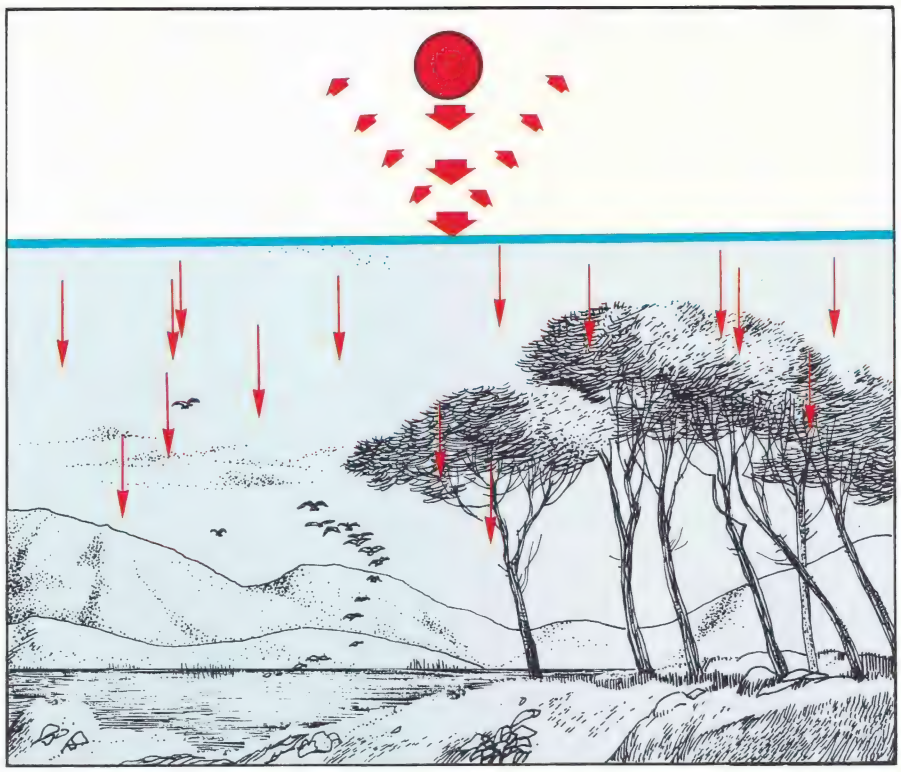


Die Ansammlung von freiem Sauerstoff

Die allmähliche Ansammlung von „nutzlosem" Sauerstoff veränderte das Gesicht des Planeten ganz drastisch. Zunächst neigte dieser *angesammelte Sauerstoff* dazu, die Molekularstruktur von *Ozon* anzunehmen. Während sich das Sauerstoffmolekül (O_2) nur aus zwei Atomen zusammensetzt (O=O), besteht das Ozonmolekül (O_3) aus drei Atomen (O=O=O). Dies wird durch die ultraviolette Strahlung bewirkt. (Der durchdringende Geruch, der in Räumen entsteht, in denen eine Höhensonne eingeschaltet ist, ist der Geruch von Ozon.) Das Ozon bildet sich in den oberen Schichten der Atmosphäre und absorbiert eine beträchtliche Menge der ultravioletten Strahlen. (Wir werden später sehen, auf welche Weise der „Ozonschirm" noch sehr wichtig werden sollte.) Solange es kein Ozon gab, war das Leben darauf beschränkt, dicht unterhalb der Wasseroberfläche zu „schweben", nahe genug an der oberen Grenze, um die Sonnenenergie für die Photosynthese einzufangen, jedoch tief genug, um vor allzu starker Einwirkung der ultravioletten Strahlen sicher zu sein. Das Festland war für das Leben damals viel zu gefährlich.

Der sekundäre Heterotrophismus

Die erste Auswirkung der Sauerstoffansammlung in der Atmosphäre bestand darin, daß sie die Rückkehr zum Heterotrophismus möglich machte. Indessen hatten die primitiven heterotrophen Organismen, da die ultravioletten Strahlen die Energie für die Herstellung von „lebenswichtigen Polymeren" – Zucker, Aminosäuren und Eiweißstoffe, Stickstoffbasen und Nukleinsäuren – geliefert hatten, die Moleküle aufgebraucht, die sich durch nichtbiologische Systeme gebildet hatten. Der sekundäre Heterotrophismus ist typisch für Organismen, die sich von



Links: In dem Maße, wie sich der Ozonschirm bildete, der einen großen Teil der ultravioletten Strahlen wegfilterte, fand das Leben Schutz und konnte sich aufs Festland vorwagen.

Unten: Wir können sagen, daß das Leben die Umwelt dadurch veränderte, daß es sie an seine eigenen Bedürfnisse anpaßte: Der Himmel wurde blau, und das Meer spiegelte diese Veränderung wider. – Fotografie, aufgenommen im Südpazifik.

Der Kohlenstoffkreislauf: Als das Gleichgewicht zwischen Pflanzen- und Tierreich hergestellt war, bestand auch ein Gleichgewicht zwischen dem Kohlendioxid, das aus den Stoffwechselprozessen aller Lebewesen und aus der Verwesung ihrer Überbleibsel freigesetzt wurde, und zwischen dem Kohlendioxid, das von den Pflanzen durch die Photosynthese gespeichert wurde.

biologisch gebildeten Molekülen ernähren, d. h. für diejenigen Tiere, die sich von pflanzlichen Stoffen ernähren.

Vermutlich gab es ein Stadium, in dem sich Heterotrophismus und Autotrophismus abwechselten. (Noch heute gibt es Mikroorganismen, die, wenn keine pflanzlichen Nährstoffe zur Verfügung stehen, ihren photosynthetischen Mechanismus aktivieren; normalerweise, wenn pflanzliche Stoffe für ihre Ernährung zur Verfügung stehen, sparen sie sich die Anstrengung der Glucosesynthese. Ein Beispiel für derartige Organismen ist der Flagellat Euglena.) Später spezialisierten sich die tierischen Mikroorganismen auf Heterotrophismus und verloren ihre Fähigkeit zur Photosynthese. Auf diese Weise entstanden die Tiere: als Parasiten der Pflanzen.

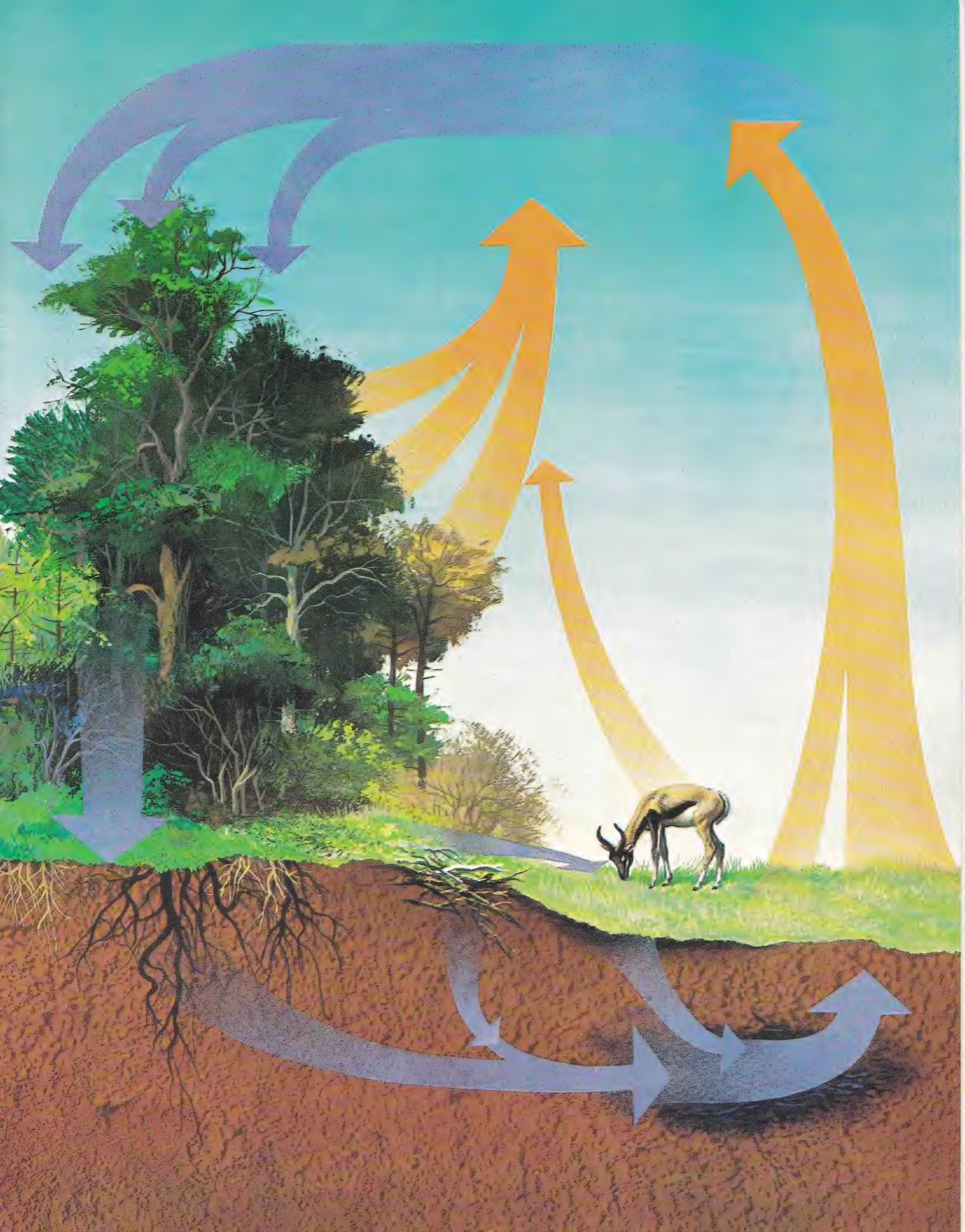
Ganz allgemein muß ein *Parasit* seine Ansprüche so gestalten, daß er es möglichst vermeidet, seinen Wirt abzutöten. Wenn wir uns die vielen parasitischen Mikroorganismen vorstellen, die im menschlichen Organismus hausen (wobei einige von ihnen gefährliche Krankheiten erzeugen), wird uns klar, daß eine tödliche Krankheit bei einem Menschen auch eine Katastrophe für die Mikroorganismen bedeutet, die seinen Tod verursachen. Daher können wir ansteckende Krankheiten als ein Beispiel für wechselseitiges Versagen betrachten: Versagen auf seiten des menschlichen Organismus bei dem Versuch, die Mikrobe unschädlich zu machen, und Versagen auf seiten der Mikrobe bei dem Versuch, unauffällig „durchzukommen".

Die Lebensgemeinschaft mit Mikroben jedoch, die keinerlei Störung verursachen, ist äußerst leistungsfähig; es gibt Höchstleistungen bei einigen Mikroben, die dem Wirt sogar nützen, wie zum Beispiel die Bakterien in unserem Magen-Darm-Trakt. Im Austausch für die Ernährung, die sie von ihrem Wirtsorganismus erhalten, stellen diese Bakterien Vitamine zur Verfügung, die der Organismus selber nicht produzieren kann. (Das ist auch der Grund dafür, weshalb man nach einer längeren antibiotischen Behandlung Vitamine einnehmen sollte. Die Antibiotika töten nicht nur schädliche Mikroben ab, sondern auch die nützlichen.)

Das erneuerte Gleichgewicht: Tiere und Pflanzen

Das Gleichgewicht, das wir heute überall um uns herum in dem parasitären Verhältnis zwischen dem autotrophen Bereich (den Pflanzen) und dem heterotrophen Bereich (den Tieren) wahrnehmen, ist ein äußerst „ausgeklügeltes". Wir haben „ausgeklügelt" in Anführungszeichen gesetzt, um klarzumachen, daß wir nicht an organisierte oder beabsichtigte Klugheit denken. Nichtsdestoweniger sind Zufall und natürliche Selektion zu denselben Ergebnissen gelangt, die hätten erzielt werden können, wenn die Situation in kluger Absicht herbeigeführt worden wäre. Dies läßt sich leicht verstehen: Organismen, die nicht in der Lage waren, das Gleichgewicht zu erhalten, starben einfach aus.

Heute ist das Verhältnis zwischen dem Tier- und Pflanzenreich äußerst komplex; viele Pflanzen können ohne Tiere gar nicht auskommen. Es gibt Insekten, die, indem sie von Blüte zu Blüte fliegen, den Blütenstaub von einer Pflanze zur anderen transportieren und so die Vorbedingung für zukünftige Pflanzengenerationen schaffen. So gibt es ferner Vögel, die Früchte fressen und die Samen in ihren Ausscheidungen über ein großes Gebiet verbreiten. Diese Formen des Gleichgewichts sind hochentwickelt. In der Urwelt jedoch, mit der wir uns

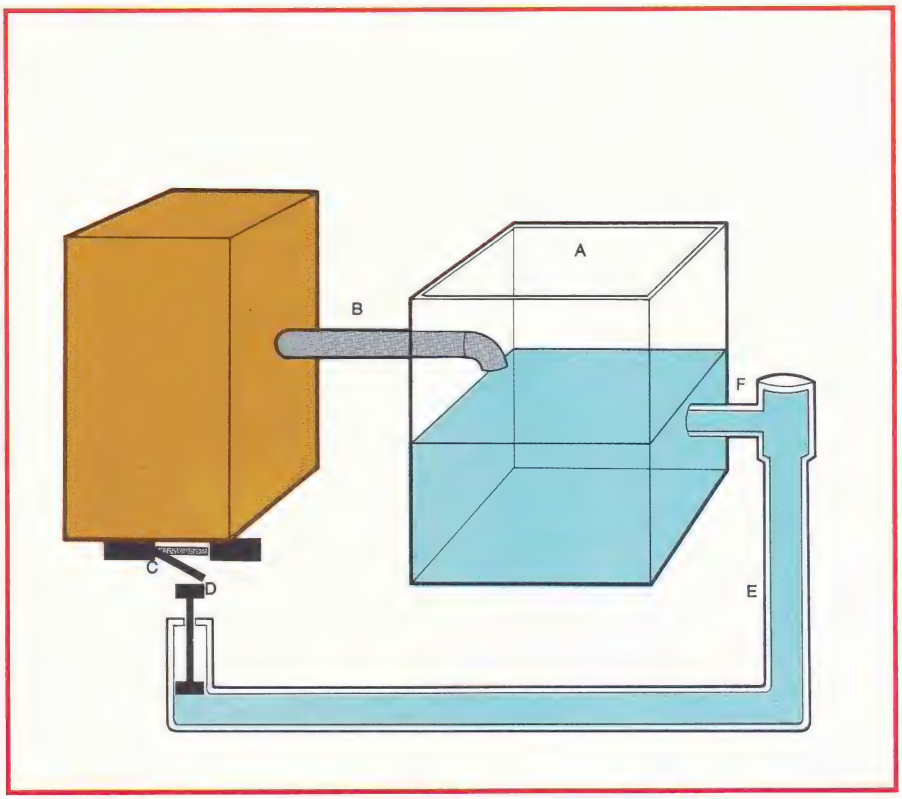


befassen, war auch dieses Verhältnis noch sehr primitiv – wahrscheinlich war es sogar auf den Kohlenstoffzyklus beschränkt: Die heterotrophen Mikroorganismen des Meeres, die sich von der Glucose ernährten, die von autotrophen Meeresmikroorganismen erzeugt wurde, nutzten den Sauerstoff, den andere autotrophe Mikroorganismen durch die Photosynthese freisetzten, und gaben dafür ihrerseits wieder Kohlendioxid ab. Auf diese Art und Weise wurde der Kohlenstoff zu einer Art von „Pendelelement" zwischen der autotrophen Welt (in Form des Kohlendioxids) und der heterotrophen Welt (in Form von Glucose bzw. pflanzlicher Nahrung).

Der Sauerstoff und der Wasserstoff haben eine ähnliche Pendelfunktion. Doch war das Einspielen dieser zyklischen Übergänge von der Pflanzen- zur Tierwelt nicht die einzige Entwicklung.

Ein Rückkopplungskreislauf von planetarischem Ausmaß

Sowohl das tierische als auch das pflanzliche Leben wurden, sobald sie erst einmal durch den (früher erwähnten) Ozonschirm geschützt wurden, in die Lage versetzt, komplexere und empfindlichere Strukturen als die zuvor entwickelten aufzubauen. Das Leben selber hat diesen *Ozonschirm* zu seinem Schutz produziert und verhinderte so die Wiederholung der frühen Phänomene einer nichtbiologischen Synthese von lebenswichtigen Molekülen – also genau der Phänomene, aus denen das Leben selbst entstanden war. Am Anfang hatten ultraviolette Strahlen den Prozeß ausgelöst, indem sie die Energie für die Synthese der ersten komplexen Moleküle in der Atmosphäre lieferten. Später bauten die Lebewesen, die aus diesen komplexen Molekülen hervorge-



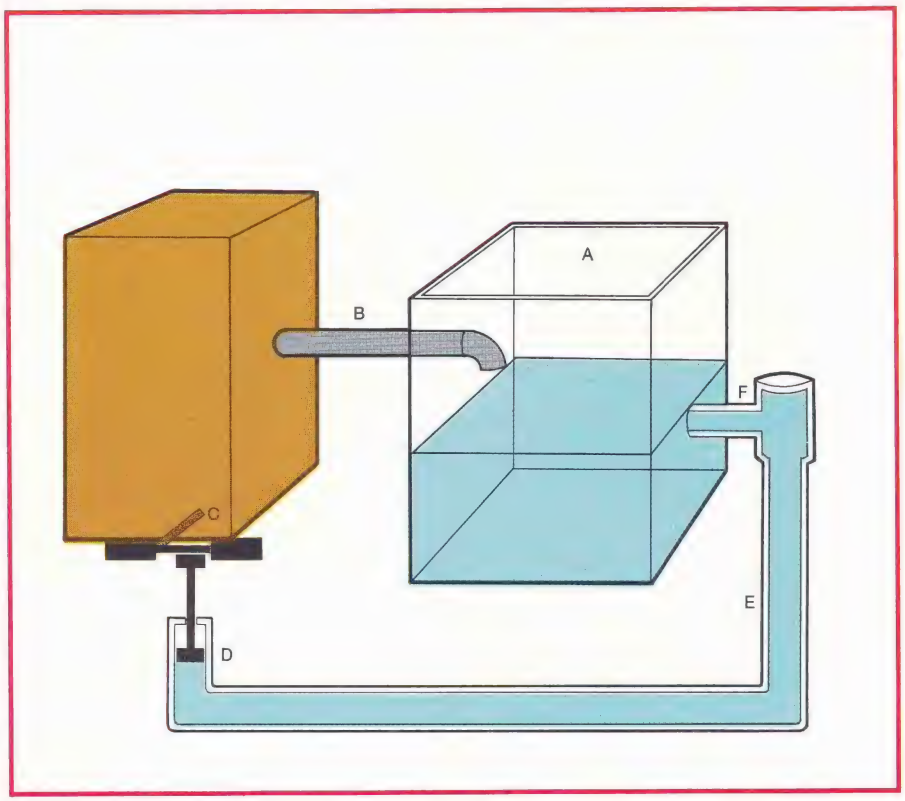
Ein Rückkopplungsmodell. Der Glasbehälter (A) wird aus dem Hahn (B) mit Wasser gefüllt, wenn der Stromkreis durch den Schalter (C) geschlossen wird. Dieser Schalter wird durch den Schwimmer (D) betätigt, der von dem in die Röhre (E) überfließenden Wasser angehoben wird, sobald im Glasgefäß der Wasserstand (F) überschritten wird. In dieser Zeichnung wird der Stromkreis dann geschlossen, wenn der Schwimmer steigt. Um das zu erreichen, brauchen wir nur Wasser in den Glasbehälter zu gießen, bis der Wasserstand (F) überschritten ist. Danach wird das Wasser weiter aus dem Hahn laufen, bis der Behälter überfließt. Dies ist insofern ein „positiver Rückkopplungsmechanismus", als die Ursache eine Wirkung erzeugt, die ihrerseits die Ursache verstärkt.

gangen waren, eine teilweise Barriere gegen die ultravioletten Strahlen auf, und dies wiederum begünstigte die Evolution in Richtung auf leistungsfähigere und kompliziertere Strukturen.

In unserem technischen Zeitalter, in dem die wissenschaftliche Entwicklung raffinierter Steuerungssysteme uns zur Automation und Kybernetik geführt hat, würden wir dieses Phänomen als „negativen Rückkopplungskreislauf auf planetarischer Ebene" bezeichnen. Unter *negativem Rückkopplungskreis* verstehen wir solche Regelsysteme, in denen ein bestimmtes Ereignis eine Reihe von anderen Ereignissen auslöst, die ihrerseits die Wiederholung des auslösenden Ereignisses verhindern. Ein *positiver Rückkopplungskreis* dagegen erzeugt Bedingungen, die die Wiederholung des auslösenden Ereignisses weiterhin möglich machen oder sogar fördern.

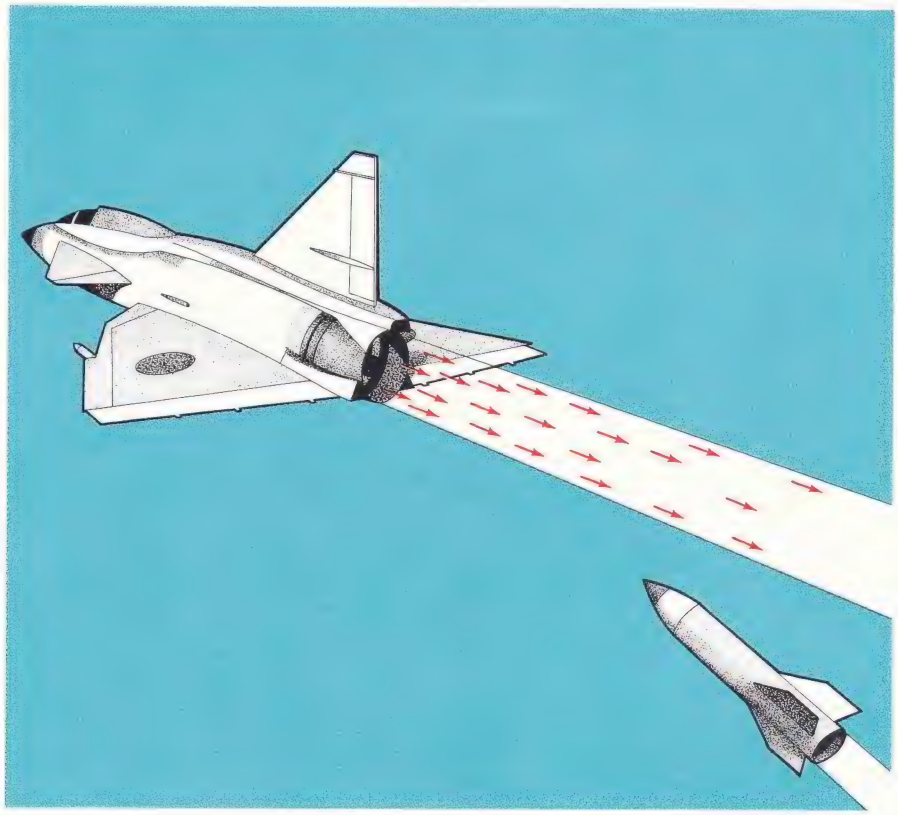
Etwas einfacher ausgedrückt, könnten wir sagen, daß in manchen Regelsystemen die Wirkung tendenziell die Ursache vernichtet (negative Rückkopplung), während bei anderen die Wirkung tendenziell die Ursache verstärkt oder wiederholt (positive Rückkopplung). Sicherheitsventile und Thermostaten sind Beispiele für negative Rückkopplung. Die atomare Kettenraktion ist ein Beispiel für eine positive Rückkopplung.

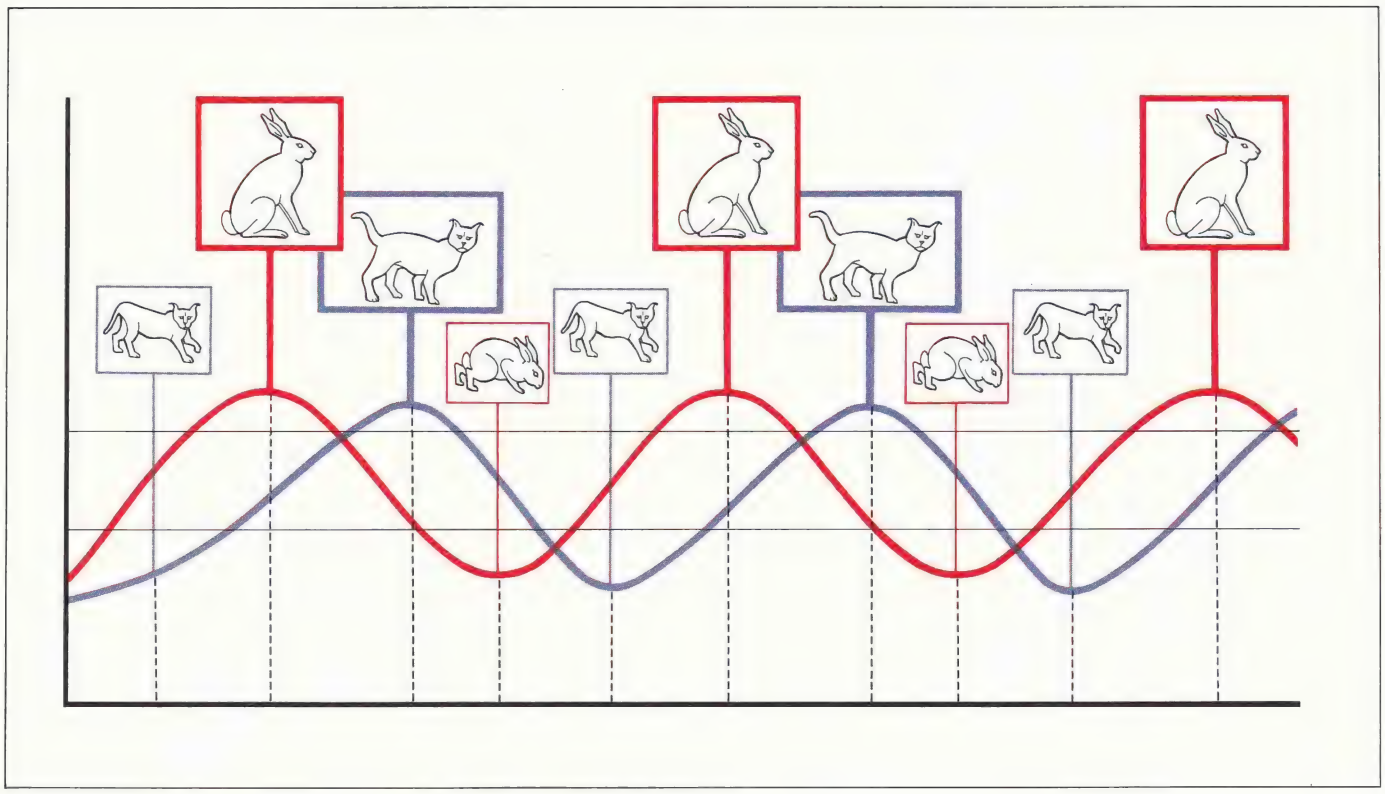
Uns heutigen Menschen sind solche Begriffe wohl vertraut, und es fällt uns deshalb nicht schwer, den Begriff der negativen Rückkopplung auf die Ursprünge des Lebens anzuwenden: Der Prozeß der Entwicklung des Lebens aus unbelebter Materie konnte sich, nachdem er einmal erfolgt war, niemals wiederholen, und zwar genau deswegen, weil das Vorhandensein des Lebens die Bedingungen so verändert hat, daß eine



In diesem Fall wird der Stromkreis geschlossen, wenn der Schwimmer sinkt. Das Wasser, das aus dem Hahn läuft, erreicht in dem Glasbehälter den Einlauf der Verbindungsröhre, hebt den Schwimmer an und schließt den Wasserzulauf. Dies ist ein Beispiel für einen negativen Rückkopplungs- oder Selbststeuerungsmechanismus. Im allgemeinen herrscht bei Lebewesen die negative Rückkopplung gegenüber der positiven vor; auf diese Weise werden Gleichgewichtsbedingungen geschaffen.

Zwei Beispiele für einen Steuerungsmechanismus durch Rückkopplung. Der Regelkreis, der die Klapperschlange zu der Quelle der Wärmestrahlung hinführt, die die Maus abgibt, ist ähnlich dem automatischen Zielsuchgerät der Rakete, die der vom Düsenmotor ausgehenden Wärme nachjagt, bis sie das Flugzeug trifft.

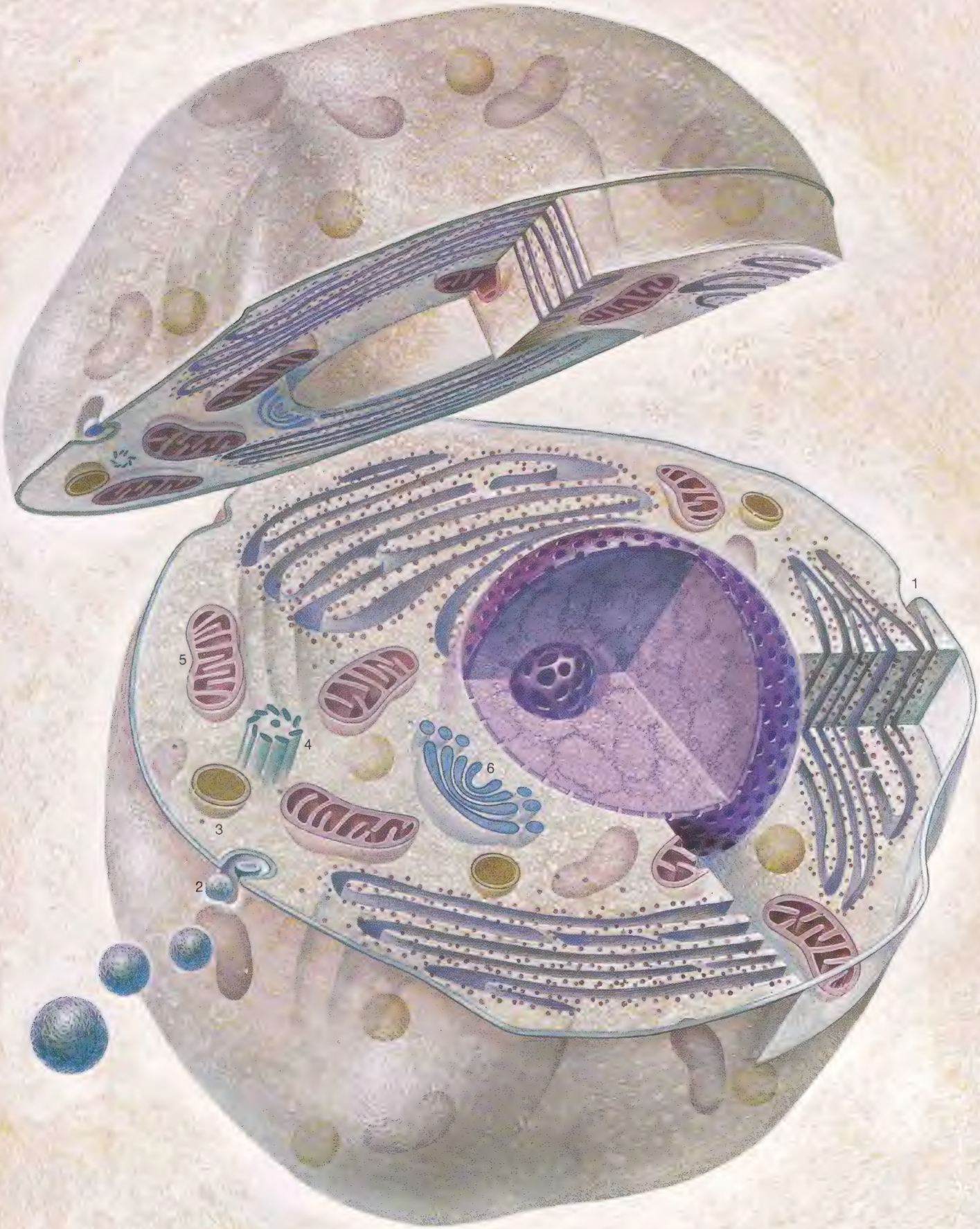




Wiederholung unmöglich wurde. Noch vor einem Jahrhundert war es jedoch schwierig, sich in eine solche Vorstellung hineinzuversetzen. Und deswegen müssen wir Darwin umso mehr dafür bewundern, daß er erklärt hat, die Geburt des Lebens aus unbelebter Materie sei dann unmöglich geworden, als das Leben bereits vorhanden war.

Ursprünglich war der Sauerstoff nur gebunden in chemischen Verbindungen enthalten und wurde dann unter der Einwirkung lebender Organismen aus ihnen freigesetzt. Hätte er in Form freier Moleküle existiert, hätte er die anderen Moleküle oxydiert (verbrannt), die sich in der Uratmosphäre durch die Einwirkung des ultravioletten Lichts gebildet hatten und mit den Regenfällen in die Ozeane gespült worden waren. Das Auftauchen des Sauerstoffs in Form von freien Molekülen in einer bestimmten Phase der Evolution trieb jedoch den Prozeß der Evolution mit bis dahin nicht vorhandenen Mechanismen an. Wir wissen nämlich, daß die Zellen, die vor der Freisetzung von Sauerstoff vorhanden waren, bereits eine komplexe Struktur aufwiesen, daß sie jedoch erst nach dem Auftreten von Sauerstoff noch komplexer wurden – d. h., nachdem eine Rückkehr zum Heterotrophismus möglich wurde. Und erst mit dem Auftreten von ungebundenem Sauerstoff und der Möglichkeit eines neuerlichen Heterotrophismus trennten sich die Eukaryonten von den Prokaryonten.

Wie der negative Rückkopplungsmechanismus die Häufigkeit der Tierarten beschränkt: Wenn die Zahl der Hasen zunimmt, gibt es mehr Nahrung für den Luchs, der erlebt, wie seinesgleichen sich stark vermehrt. Dies bewirkt jedoch, daß die Hasen aufgefressen werden. Wenn dann ihre Anzahl abnimmt, nimmt auch die Anzahl der Luchse wieder ab. Das Gleichgewicht zwischen der Anzahl der Beutetiere und der Anzahl der Raubtiere schwankt ständig innerhalb bestimmter Grenzen (in dem Schaubild entspricht die Größe der Tiere dem zahlenmäßigen Umfang ihrer Art zu verschiedenen Zeitpunkten).


1
2
3
4
5
6

Primitive und differenziertere Zellen

Die differenziertere Zelle macht Heimarbeit

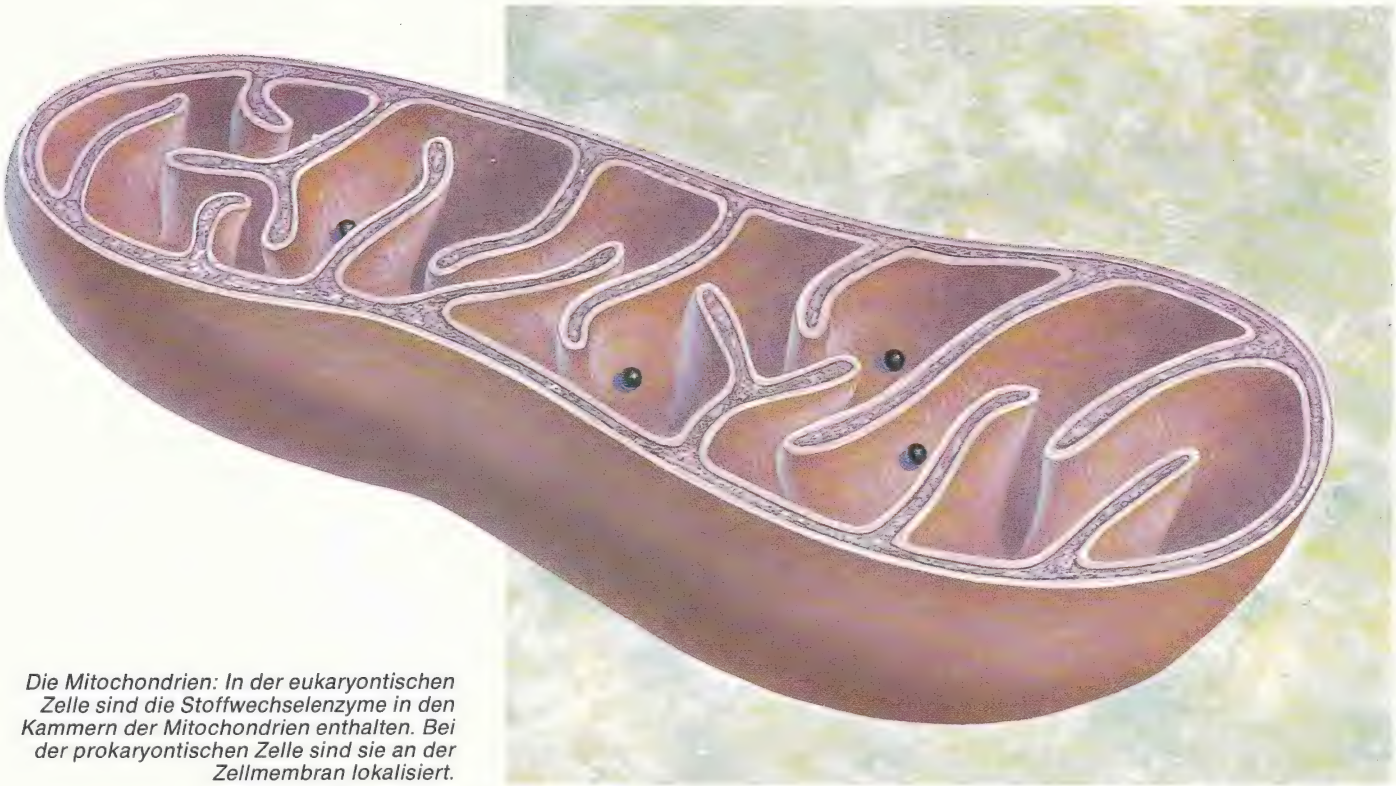
Heute werden die *Prokaryonten* durch Bakterien und Blaualgen vertreten. Alle anderen Lebewesen sind *Eukaryonten.* Der grundlegende Unterschied zwischen diesen beiden Zelltypen besteht darin, daß in den Prokaryonten das genetische Material aus DNS-Spiralen besteht, die im Zellkörper verstreut liegen, während bei den Eukaryonten die DNS im Zellkern (Nukleus) konzentriert sind, der von einer Membranhülle umgeben ist.

Ein weiterer bezeichnender Unterschied liegt in den Membranen, die die Zellen von der Außenwelt isolieren. Die Zellmembran der Prokaryonten ist etwas fester als die Membran der Eukaryontenzelle und besitzt winzige Poren, die das Eindringen von einzelnen Molekülen in das Zellinnere ermöglichen. Die Membran der Eukaryontenzelle ist dagegen flexibel genug, um die Aufgaben des „Essens" und „Trinkens" zu erfüllen. Sie kann relativ große, feste und flüssige Teilchen umhüllen und sie in kleinen Taschen oder Vakuolen innerhalb des Zytoplasmas ablagern, wo Verdauungsenzyme auf sie einwirken können. Dies ist ein großer Fortschritt, weil die prokaryontische Zelle noch Enzyme in ihre Umgebung absondern muß, um Nahrungsmoleküle zu spalten, die zu groß sind, als daß sie unmittelbar durch die Membranporen vereinnahmt werden könnten.

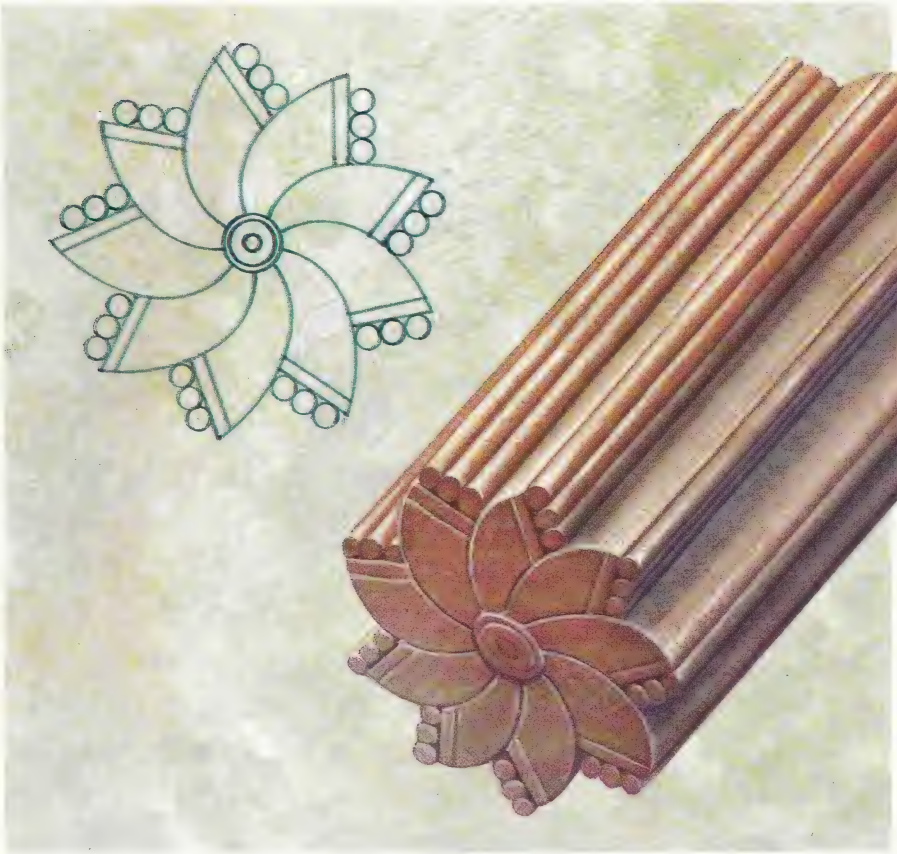
Von den beiden Methoden – der „Außenarbeit", für die sich die Prokaryonten entschieden haben, und der „Heimarbeit", die die Eukaryonten leisten – ist die Methode der Prokaryonten weniger leistungsfähig, weil die Zelle größere Mengen von Enzymen produzieren muß. Der Organismus der Eukaryonten spart nicht nur bei der Produktion von Enzymen, sondern ist auch in der Lage, die Nahrung, die er sich verschafft hat, in geeigneten Päckchen wie Stärkekörnern und Fettbläschen zu speichern, wo sie durch Enzyme leichter zugänglich gemacht werden können. Da dies innerhalb der Vakuolen stattfindet, besteht nur ein geringes Risiko für eine schwerwiegende Veränderung der chemischen Zusammensetzung der Zelle. Dies ist nicht nur von Vorteil für die heterotrophe Zelle, die Nahrung speichert, sondern auch für die autotrophe, die Wasser speichern kann.

Die eukaryontische Zelle ist höher entwickelt als die prokaryontische; sie unterscheidet sich von ihr hauptsächlich durch ihren klar umgrenzten Kern, der in sich ein kleines Kernkörperchen (Nukleolus) enthält. Materie aus der Umwelt kann wegen der vielen Falten in der Membran (1) in den Zellkörper hineingelangen. Bei Punkt (2) nimmt die Zelle Nahrung auf. Im Zellkörper sind mehrere winzige Organe zu erkennen: die Ribosomen (3) für die Proteinsynthese; die Zentriolen (4), deren Funktion noch nicht genügend erhellt ist; die Mitochondrien (5), in denen vermutlich der Stoffwechsel stattfindet, und der Golgi-Apparat (6). Die Chromosomen, die aus DNS bestehen, sind im Zellkern (Nukleus) enthalten; sie enthalten ihrerseits die Erbdaten.

Der Golgi-Apparat, eine „akkordeonartige" Struktur, die aus Stapeln flacher Doppelmembranen besteht, welche eine Anzahl platter Säckchen bilden, die ungefähr parallel hintereinander liegen und aus denen seitlich Bläschen (Vesikel) unterschiedlicher Größe abgegeben werden. Man glaubt, daß der Golgi-Apparat an der Sekretion bestimmter Zellmaterialien beteiligt ist.



Die Mitochondrien: In der eukaryontischen Zelle sind die Stoffwechselenzyme in den Kammern der Mitochondrien enthalten. Bei der prokaryontischen Zelle sind sie an der Zellmembran lokalisiert.



So bizarr sehen die Zentriolen aus (links), die mit dem Fortpflanzungsprozeß zu tun haben, da sie sich voneinander entfernen, bevor sich die Zelle in zwei Teile teilt (rechts).

Auf diese Weise wird nie eine gute Gelegenheit verpaßt. Nur diejenigen Leute, die Eimer besitzen, in denen sie Wasser sammeln können, können das Wasser richtig verwenden. Den Leuten ohne Eimer nutzt der Regen dagegen wenig oder gar nichts. Die Fähigkeit, sowohl Nahrung als auch Wasser zu speichern, ermöglichte der eukaryontischen Zelle, sich zu vergrößern und zu differenzieren und neue Strukturen zu schaffen, mit denen sie die von der Umwelt gebotenen Rohstoffe noch besser ausnutzen konnte.

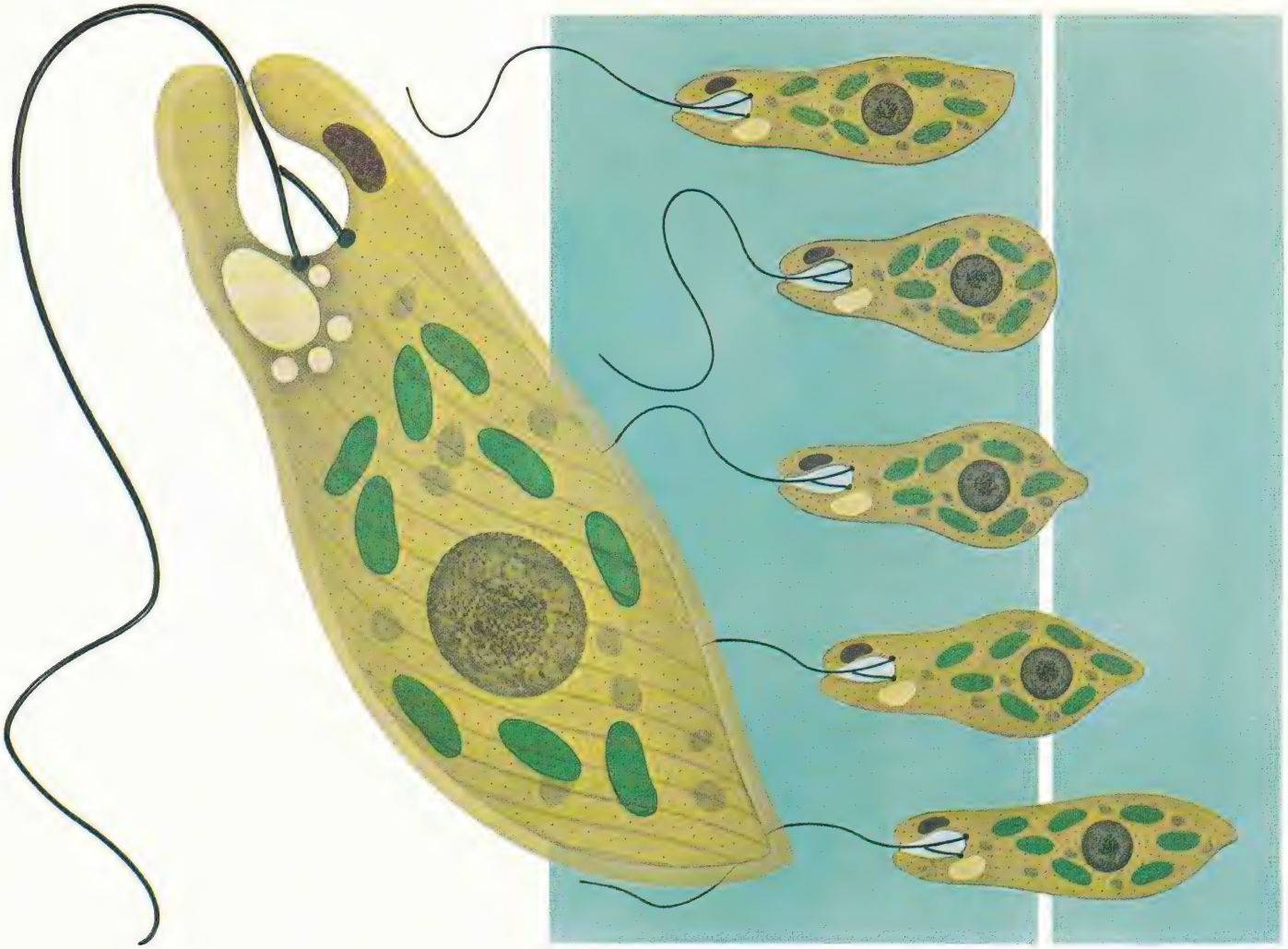
Die differenziertere Zelle lernt die Fortbewegung

Die *Geißel,* ein härchenartiger Fortsatz, der der Zelle als Fortbewegungsmittel dient, ist eine der ältesten biologischen Strukturen. Sie bildete sich vermutlich vor der endgültigen evolutionären Trennung zwischen der autotrophen und der heterotrophen Zelle zu einer Zeit, als einige Mikroorganismen neben der Fähigkeit, sich von Pflanzenstoffen zu ernähren, auch noch die Fähigkeit zur Photosynthese als Hilfsmittel für nahrungsarme Zeiten beibehielten.

Später spezialisierten sich einige Geißelorganismen auf die autotrophe Lebensweise, andere auf die heterotrophe und begründeten damit zwei Familien vom selben Stamm – die *Phytoflagellaten* (pflanzliche Flagellaten) und die *Zooflagellaten* (tierische Flagellaten oder Geißeltierchen). Die Zooflagellaten bewegten sich auf der Suche nach pflanzlichen Nährstoffen vorwärts, die Phytoflagellaten auf der Suche nach freien Wasserflächen, wo die Lichtstrahlen noch nicht absorbiert

Rechts: Mikrofotografie der Euglena, eines einzelligen Lebewesens.

Unten: Schaubild der Euglena (die Chloroplasten sind grün eingezeichnet). Euglena besitzt einen Bewegungskomplex und einen Mechanismus, der diesen auf das Licht ausrichtet. Der Orientierungsmechanismus besteht aus einer Geißel, die die ganze Zelle in Umdrehungen versetzt und abwechselnd Licht und Schatten erzeugt, und aus einem kleinen, lichtempfindlichen Organ. Wenn sich Euglena auf das Licht zubewegt, ermöglichen ihr die wechselnden kurzen Intervalle von Licht und Schatten, die gleich lang sind, genauen Kurs zu halten. Ihre Bewegung wird durch Fibrillen längs des Zellkörpers bewirkt; diese Fibrillen bestimmen Zusammenziehung und Ausdehnung.



waren oder die noch nicht von Blaualgen oder Bakterien überbesetzt waren.

Noch heute spielen die Phytoflagellaten, von denen es in unseren Gewässern nur so wimmelt, eine höchst lebenswichtige Rolle. Durch die Photosynthese von Kohlendioxid zur Erzeugung von Zucker und Sauerstoff „verarbeiten" sie in jedem Jahr Milliarden von Tonnen dieses Gases, und ihr komplexer Stoffwechsel macht nach Schätzungen ein Drittel bis zur Hälfte des gesamten pflanzlichen Stoffwechsels aus. Dies bedeutet, daß ein Drittel bzw. die Hälfte des Sauerstoffs, den wir atmen, den Phytoflagellaten zu verdanken ist.

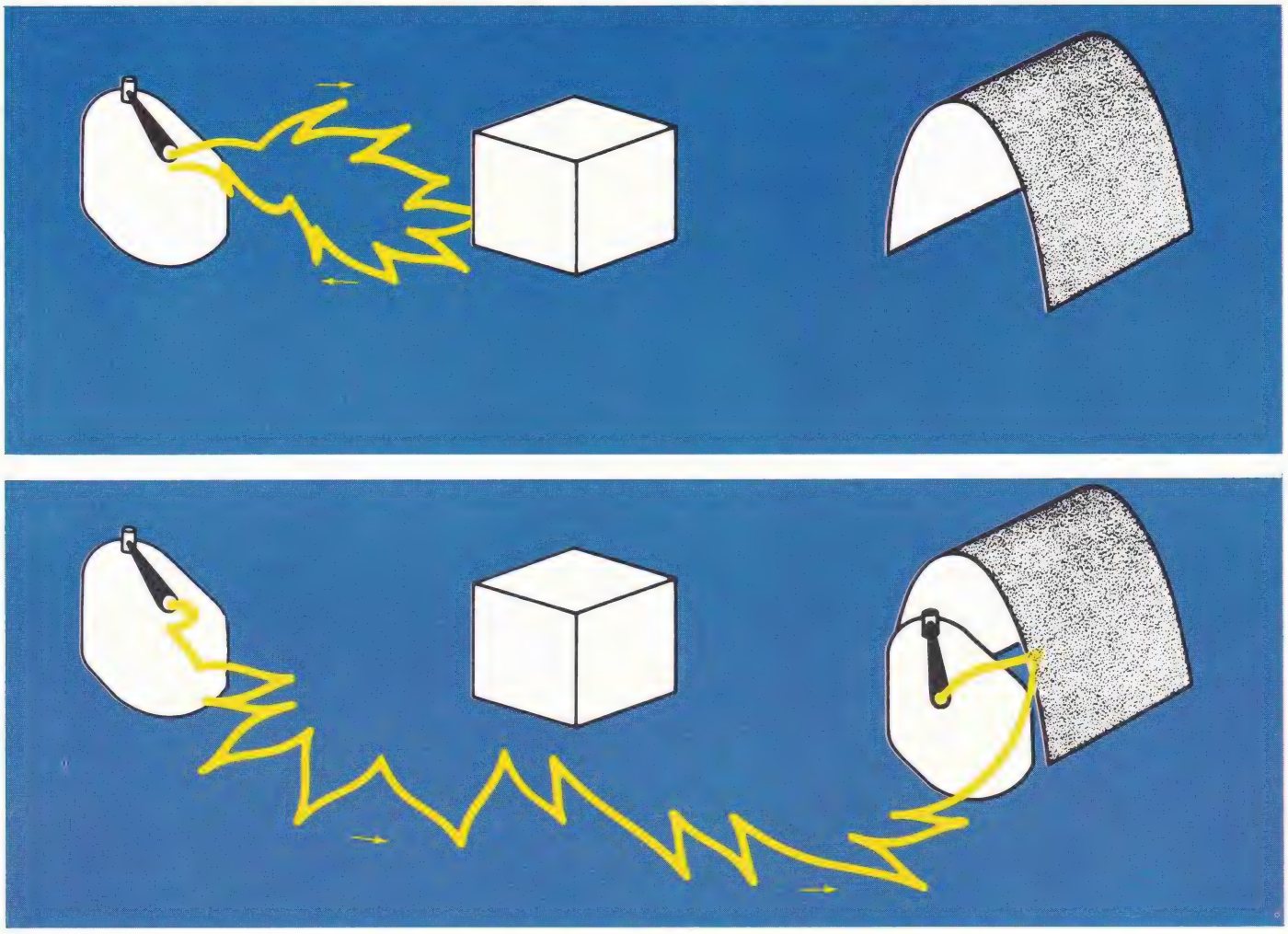
Auf den ersten Blick könnte die Geißel als sehr einfache Struktur erscheinen – als bloße Verlängerung des Zellkörpers. Sie hat jedoch eine wichtige Funktion zu erfüllen. Sie befördert die Zelle nicht etwa zufällig hierhin und dorthin, sondern jeweils zu einem ganz bestimmten Ziel. Im Falle der Phytoflagellaten verläuft die Bewegungsrichtung von schlammigem zu klarem Wasser, von dunklem Wasser (wie es im Schatten eines Felsens vorkommt) zu beleuchtetem. Die Geißel befördert die Zelle morgens an die Ostseite, mittags an die Südseite und nachmittags an die Westseite ein und desselben Felsens.

Licht und Schatten zwischen Klippen. Obwohl die Flagellaten (sowohl die tierischen als auch die pflanzlichen) Einzeller sind, bewegen sie sich mit Sicherheit je nach Tageszeit in ganz bestimmte Richtungen.

Dieser Mechanismus wurde an dem Phytoflagellaten *Euglena* genau untersucht. Ihre Geißel rotiert im Wasser in einem Winkel, der von einer lichtempfindlichen Stelle, dem sogenannten *Augenfleck,* bestimmt wird. Die lichtempfindliche Stelle ist in einer Nische untergebracht, die durch eine Art vorspringenden „Sonnenschirm" überdacht ist. Die Rotation der Geißel verursacht eine Rotation der gesamten Zelle, und auch der Sonnenschirm rotiert rasch. Die Geißel rotiert so, daß die maximale Geschwindigkeit in der Abwechslung von Licht und Schatten erreicht wird, die durch die Umdrehung des Sonnenschirms verursacht wird. Wenn die Geißel einen „Fehler" macht und sich in Richtung Schatten bewegt, bewirkt die Rotation des Sonnenschirms eine Dunkelperiode, die länger als die Hellperiode ist. Dies verursacht eine chemische Veränderung an der lichtempfindlichen Stelle, welche den Neigungswinkel der Geißel verändert und damit ihre Position korrigiert.

Dies ist ein weiteres Beispiel für eine negative Rückkopplung in der Biologie. Erinnern wir uns daran, daß Kybernetiker als Kuriosität einen Apparat bauten, der als *Machina speculatrix* bekannt wurde und ebenso wie die Phytoflagellaten nach Licht strebte und Hindernisse umgehen konnte. Welchen Weg das Maschinchen nahm, ist aus der Zeichnung zu entnehmen. Die Langzeitaufnahme zeigt den unsicheren Zickzackkurs,

Die Fähigkeit, Hindernisse zu umgehen und eine Lichtquelle zu erreichen, ein typisches Merkmal primitiver Lebensformen, wird hier künstlich mit der „Machina speculatrix" dargestellt.

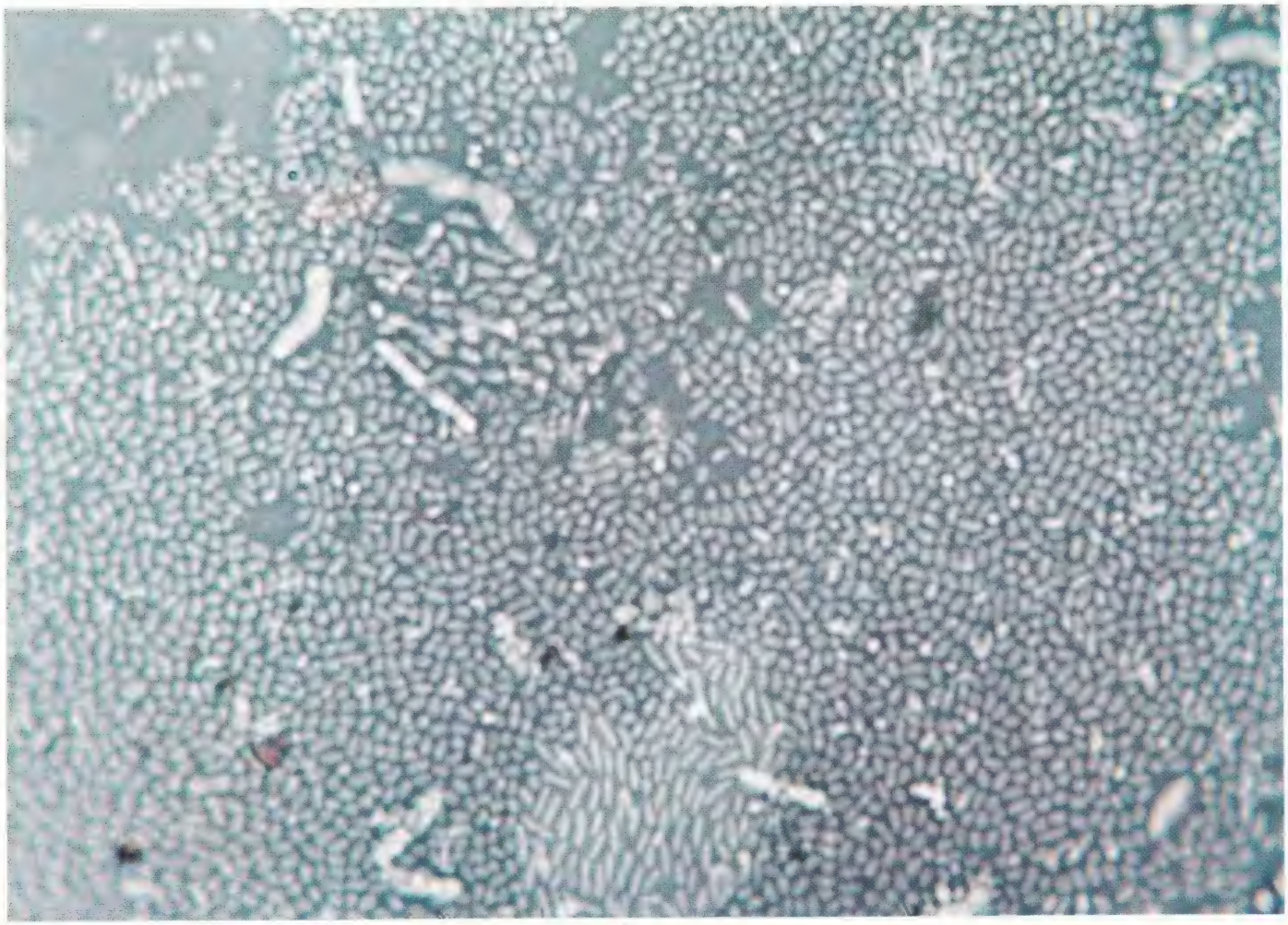


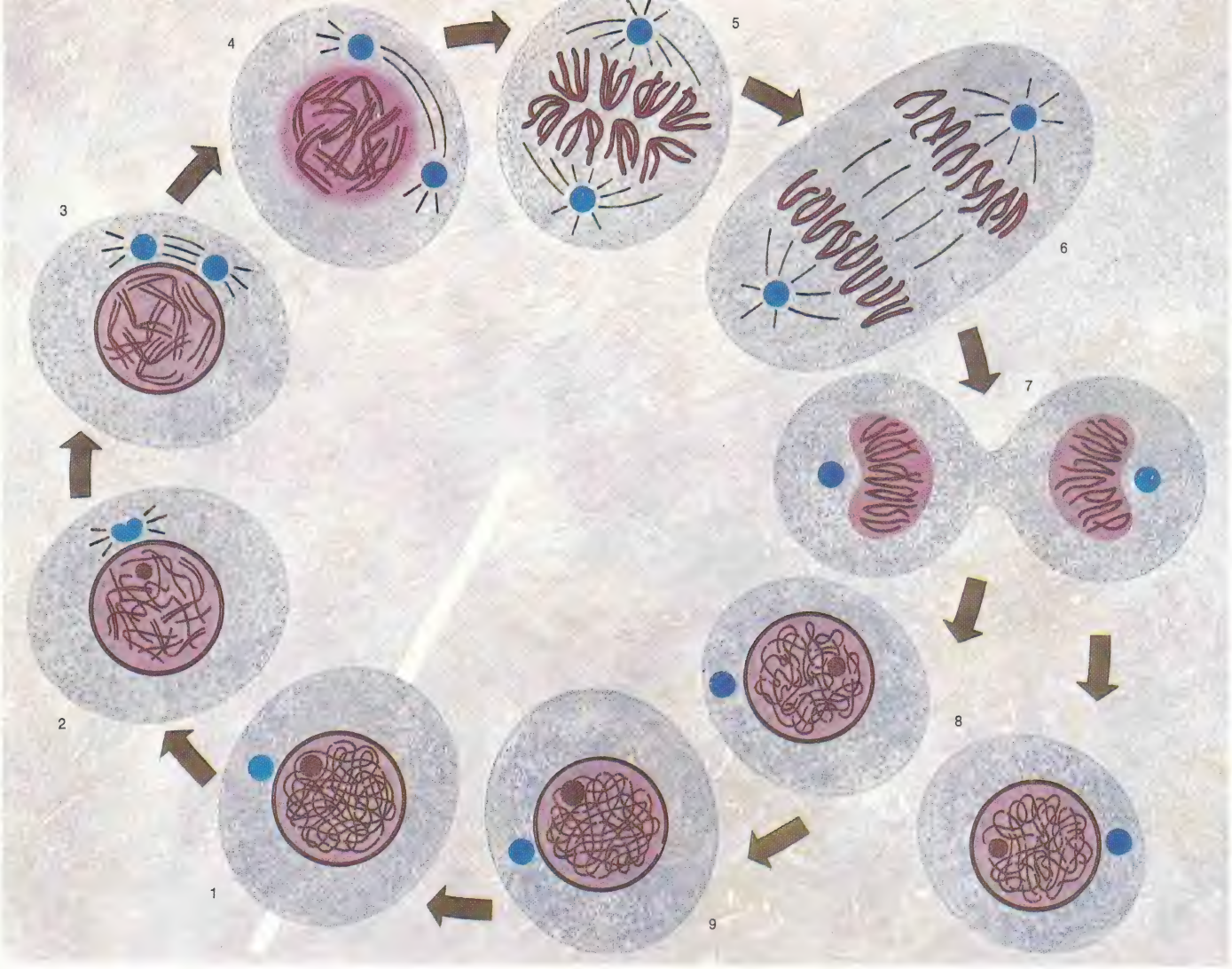
den das im Dunkeln aufgestellte Maschinchen bei einem Versuch verfolgte, einen Ausgang nach einer Stelle zu finden, aus der Licht schimmerte. Die Kybernetiker, die diese Maschine gebaut haben, waren recht einfallsreich, doch ist der Phytoflagellat Euglena noch raffinierter, da er das Problem in einer mikroskopischen Größenordnung und mit sehr viel weniger Energieaufwand löst.

Eine Mikroaufnahme einer Kultur von Escherichia coli, von Mikroben also, die insbesondere auch auf ihre Fortpflanzungsmechanismen hin untersucht wurden.

Unterschiede in der Fortpflanzung

Die *Fortpflanzung* besteht bei der prokaryontischen Zelle im wesentlichen, wie wir gesehen haben, aus einer Verdopplung der DNS. Diese ist nicht in einem Kern enthalten, sondern liegt frei im Zytoplasma und stellt meist einen Ring dar, der an der Innenwand der Membran befestigt ist. (Chlorophyllringe und die enzymproduzierenden Teilchen sind bei der prokaryontischen Zelle an der inneren Membranwand befestigt, so daß die Membran das echte Baugerüst des Prokaryonten ist.) Weil aber andererseits bei den Eukaryonten das genetische Material in einem Zellkern (Nukleus) enthalten ist, sieht der Prozeß der *Zellteilung* bei diesen beiden Zelltypen unterschiedlich aus. Bei den Eukaryonten gibt es zwei Körnchen, die *Zentriolen,* die sich in der Vermehrungsphase auf zwei gegenüberliegende Seiten des Zellkerns begeben. Es hat den





Anschein, daß sie einen entscheidenden Einfluß auf die einzelnen Stufen der Kernentwicklung ausüben (vgl. die Abbildung). Sowie erst einmal der Kern geteilt ist, teilt sich auch die Zelle (oder vermehrt sich). Dieser Prozeß wird *Mitose* genannt. Der Prokaryont hat keinen eindeutig definierten Kern; daher sind die Phasen unbekannt, die während der Mitose ablaufen, und es erfolgt lediglich eine Teilung des genetischen Materials oder der DNS, dem eine Teilung des Zellkörpers entweder in zwei gleiche Teile oder in zwei Teile unterschiedlicher Größe folgt.

Sexualität bei Bakterien

Das Wörtchen „einfach" sollte aus dem Wortschatz des Biologen gestrichen werden, da in der Natur nichts wirklich einfach ist. Selbst bei den Bakterien ist nicht alles immer so, wie es zu sein scheint. Häufig spielt sich etwas ab, was als „Sexualität" bezeichnet wird, obwohl es dem Anschein nach wenig oder gar nichts mit dem Sexus zu tun hat, wie wir ihn verstehen. Wenn wir aber die *Sexualität* als eine Beziehung zwischen zwei Einzelwesen derselben Art beschreiben, die zu elternähnlichen, nicht jedoch mit den Eltern identischen Nachkommen führt, müssen wir einräumen, daß es auch bei den Bakterien (neben der üblicheren asexuellen Zweiteilung mit fast identischen Nachkommen)

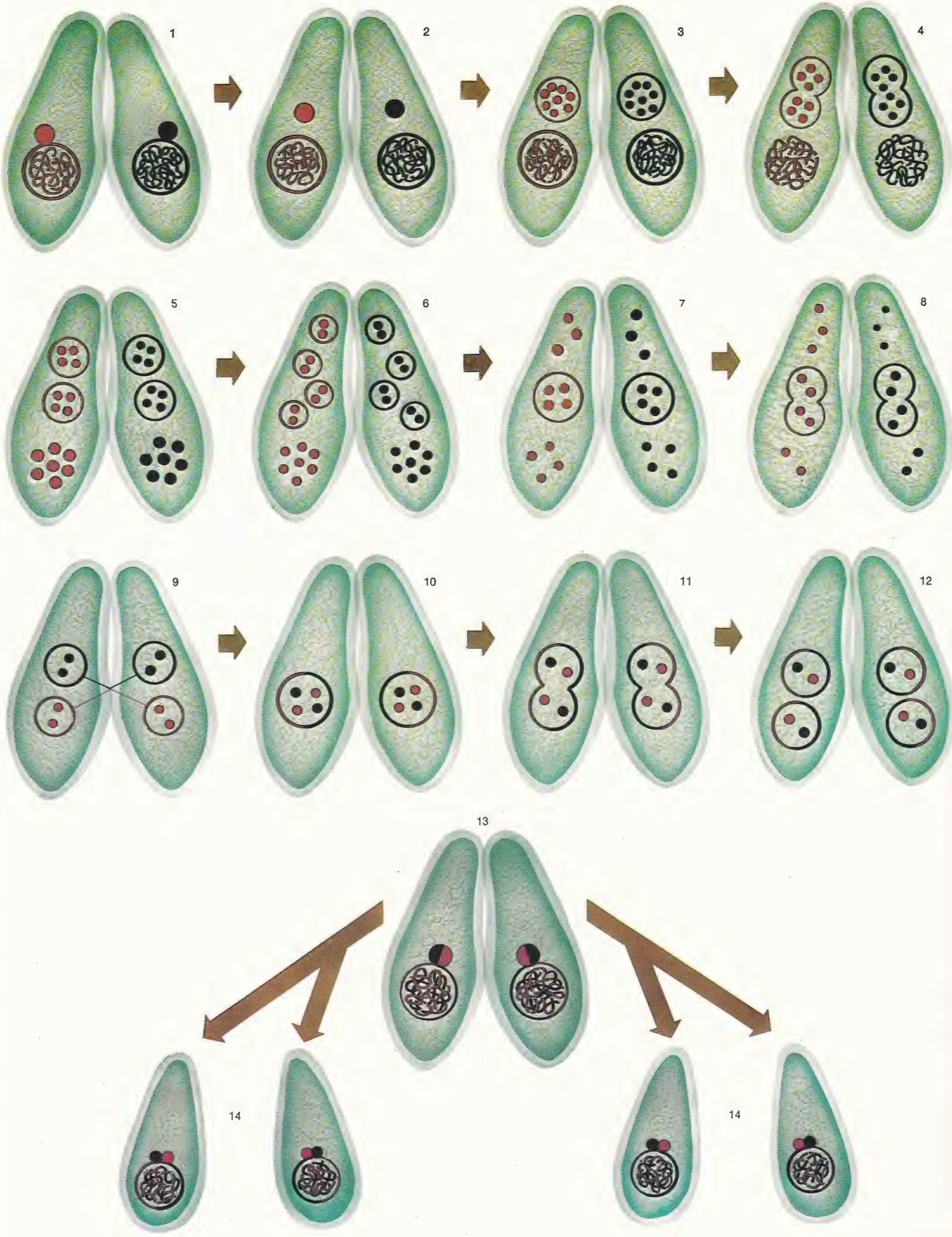
Linke Seite: Ungeschlechtliche Fortpflanzung bei einem einzelligen Organismus. Bei 1) sind die Nukleinsäuren im Nukleus (Kern) wie ein Gewirr von Schnüren vorhanden; es gibt einen Nukleus und ein einziges Zentriol. Bei 2) beginnt das Zentriol sich zu teilen, und die Chromosomen nehmen Gestalt an. Von 3) bis 5) setzt sich der Prozeß fort, und die Zellmembran verschwindet. Bei 6) streckt sich die Zelle und schafft einen Abstand zwischen den Zentriolen und den getrennten Chromosomen. Bei 7) und 8) teilt sie sich, wobei sie zwei Tochterzellen bildet, die miteinander und mit der Mutterzelle identisch sind. Bei 9) nimmt eine der Tochterzellen den Fortpflanzungszyklus wieder auf.

Ein Labor, in dem Antibiotika hergestellt werden. Das Zeitalter dieser Substanzen begann mit der Entdeckung des Penicillins durch den britischen Bakteriologen Sir Alexander Fleming im Jahre 1929.

eine Sexualität in diesem Sinne gibt; gemeint ist die Aneinanderlagerung zweier Bakterienindividuen mit nachfolgendem Austausch genetischen Materials.

Halten wir hier nur am Rande fest, daß dies die *einzige Form von Unsterblichkeit* ist, die die Natur kennt. Natürlich hat die so definierte Unsterblichkeit Grenzen, was den einzelnen Organismus angeht. Ein Bakterium, das sich ungeschlechtlich durch Aufspaltung in zwei identische Nachkommen teilt, könnte dabei zugrunde gehen und in diesem Sinne nicht unsterblich sein. Doch diese einzelne Bakterienzelle, die nun gestorben ist, war in Wirklichkeit nur eine von einer riesigen Anzahl absolut identischer Zellen, die alle letztlich aus derselben ursprünglichen Elternzelle hervorgegangen sind. Daher bezieht sich der Begriff „Unsterblichkeit", wie wir ihn hier diskutieren, mehr auf eine Gruppe als auf ein Einzelwesen. Die ursprüngliche Elternzelle zum Beispiel ist so lange unsterblich, als auch nur eine Zelle von ihrer späteren Nachkommenschaft am Leben bleibt und sich fortpflanzt.

Die Sexualität der Bakterien zeigt sich in den sogenannten männlichen und weiblichen Bakterien, die in jeder Hinsicht identisch sind, mit der einen Ausnahme, daß in der Zellmasse der männlichen ein winziges losgelöstes Chromosom frei vorhanden ist. Dieses winzige Chromosom erreicht den großen DNS-Ring (der, wie wir gesehen haben, an der

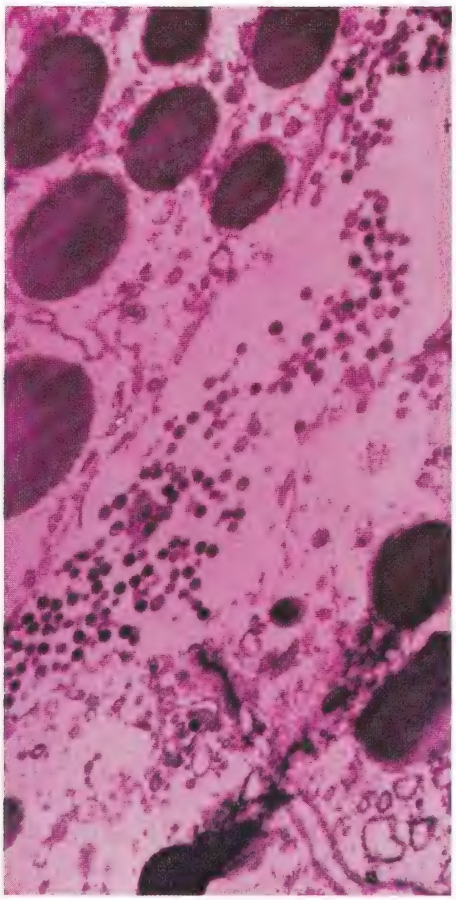

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
14

Linke Seite: Das Paramecium kann sich sowohl ungeschlechtlich fortpflanzen (wie in der vorhergehenden Abbildung) als auch „geschlechtlich", d. h. unter Austausch von Erbmaterial (Kernmasse) zwischen den beiden Elternorganismen. Von 1) bis 8) machen sich zwei Exemplare des Parameciums für diesen Austausch bereit. Bei 9) erfolgt dieser Austausch, und von 10) an kehrt die Zelle in ihren inaktiven Zustand zurück. Bei 13) haben wir zwei neue Exemplare von Paramecium mit den Strukturmerkmalen, die sie bei 1) besaßen, jedoch mit teilweise ausgetauschter Kernmasse. Bei 14) spaltet sich jede der beiden Zellen, die den Austausch vollzogen haben. Die vier Tochterzellen, die sich aus dieser Spaltung ergeben, haben die Merkmale von Bastarden.

Links: Beim Menschen werden Erbmerkmale, wie z.B. die Augenfarbe und die Haarfarbe, zwischen den Eltern nicht ausgetauscht, sondern treffen in den Kindern zusammen.

Innenfläche der Zellmembran befestigt ist), öffnet diesen Ring und dringt ein – ungefähr wie ein Kind, das sich am Spiel beteiligen möchte und sich in einen Kreis von Mitspielern drängt. Der erweiterte Ring verdoppelt sich, doch streckt er zusätzlich noch etwas wie ein Schwänzchen aus. Dieses Teil, das wie ein äußerst feines Härchen aus der Zelle hervorragt, durchdringt die Wand einer anderen Zelle (der weiblichen Bakterie) und reiht sich in den weiblichen Chromosomenring ein.

Diese merkwürdige und komplexe Regelung hat ihre Vorteile, wenn ein Stamm von männlichen Zellen, die die Substanz A produzieren können, die Substanz B aber nicht (wobei beide Substanzen lebensnotwendig sind), sich mit einem Stamm von weiblichen Zellen „vereint", die



Mikrofotografie eines Leukämievirus.

die Substanz A nicht produzieren können, wohl aber die Substanz B. In einen Nährboden gesetzt, dem beide Substanzen fehlen, würden sowohl die männlichen als auch die weiblichen Zellen ohne Sexualität absterben. Wenn aber eine Vereinigung möglich ist, gedeiht die Kultur, d. h., sie produziert sowohl die Substanz A als auch die Substanz B.

Offensichtlich empfangen die „Nachkommen" vom männlichen Elternteil die Fähigkeit, die Substanz A zu erzeugen, und vom weiblichen die Fähigkeit zur Erzeugung der Substanz B. Wir können nicht wissen, ob alle Nachkommen der beiden Bakterienstämme das Glück haben, die positiven Merkmale beider Elternteile zu erben. Wenn welche entstehen, die dieses Glück nicht haben, sterben sie ohne Nachkommen aus. Die Kultur gedeiht deswegen, weil sie aus der Nachkommenschaft derjenigen Zellen besteht, die „Glück" gehabt haben.

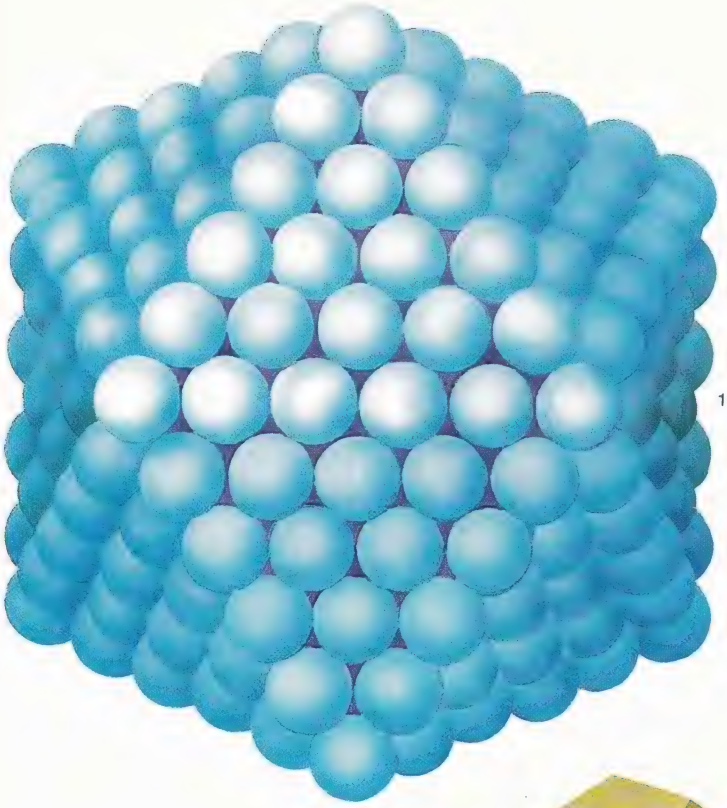
Wir wissen nicht einmal, ob diese Art der Geschlechtlichkeit bei den Bakterien schon von dem Zeitpunkt an vorhanden war, als die Bakterien auf diesem Planeten zum ersten Mal auftraten, oder ob es sich um einen späteren Entwicklungsschritt handelt. Merkwürdig ist jedoch, daß primitive Organismen wie Bakterien über eine solche Form der Sexualität verfügen, während sie bei anderen (höher entwickelten) Mikroorganismen – den Eukaryonten – fehlt. Daß eine so nützliche Erfindung „unterwegs" verloren gegangen sein soll, scheint der Logik der Evolution fast zuwider zu laufen. Wenn aber diese merkwürdige Eigenschaft später erworben wurde (d. h. die heutigen Bakterien geschlechtlich sind, während dies ihre Vorfahren nicht waren), können wir annehmen, daß sich diese nützliche Erfindung zweimal entwickelt hat, einmal auf der Ebene der Bakterien und ein zweites Mal auf der Ebene der Eukaryonten. Vielleicht hat sie sich sogar mehrfach entwikkelt; denn die Sexualität der Eukaryonten (bei einzelligen Organismen) unterscheidet sich stark von der Sexualität mehrzelliger Organismen. Die lange, lange Straße der biologischen Evolution ist mit „Erfindungen" gepflastert, die immer wieder neu gemacht wurden.

Zwei Seelen und ein Körper

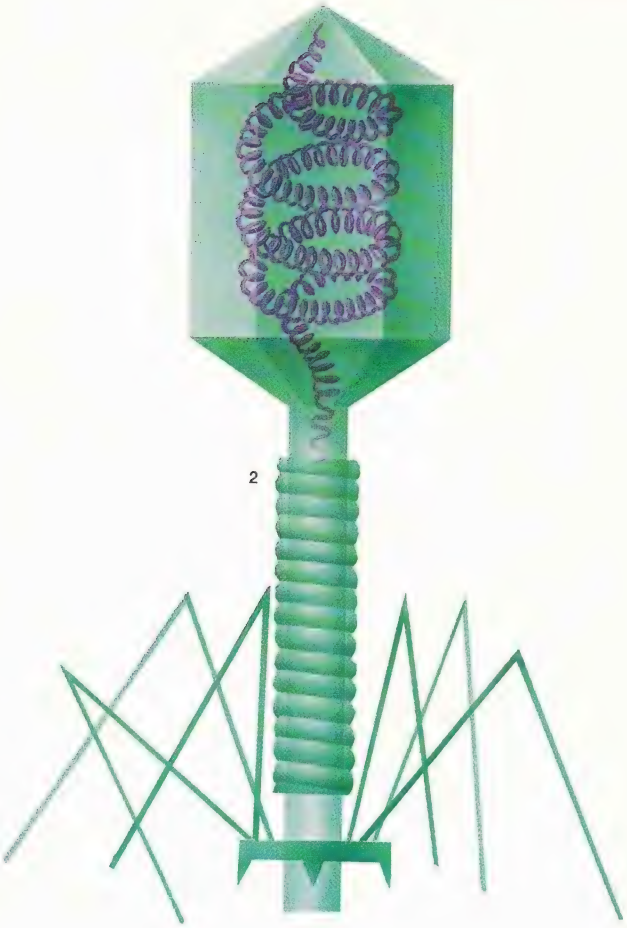
Die Eukaryonten verfügen über eine nachgerade paradoxe Sexualität. Anstatt eine zahlenmäßige Vermehrung der Individuen zu bewirken, führt die Sexualität hier sogar zu einer Verringerung der Individuenzahl, und zwar dadurch, daß aus zwei Wesen ein einziges wird. Wer könnte sich eine innigere Vereinigung vorstellen! Natürlich ist es so, daß sich das neue Wesen, das aus der Vereinigung seiner Eltern entsteht, selbst wiederum teilt. Aus dieser Teilung resultieren dann doch wieder zwei neue Individuen, die sich von den Eltern unterscheiden, da die Erbmerkmale wie ein Kartenspiel gemischt und dann wieder geteilt werden, damit sich neue Kombinationen ergeben.

Die Bedeutung dieses scheinbar sinnlosen Vorgangs liegt genau darin, daß durch das „Kartenmischen" zur Erzielung neuer Kombinationen die Veränderung, soweit möglich, neue Lebewesen ergeben wird, die für den Kampf ums Überleben in der Evolution besser ausgestattet sind. Natürlich ist es auch möglich, daß sich die Veränderung nachteilig auswirkt. Auf jeder Ebene des Lebens gibt es Risiken; die Mikroorganismen bilden hier keine Ausnahme. Unterm Strich jedoch können wir die Vorstellung akzeptieren, daß sich das „Spiel" unter Umständen lohnt, da sich die Geschlechtlichkeit als erfolgreich erwiesen und sich bei allen höherentwickelten Arten durchgesetzt hat.

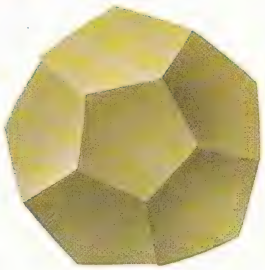
Rechte Seite: Verschiedene Virustypen: 1 Adenovirus, 2 Bakteriophage, 3 Poliomyelitisvirus, 4 Grippevirus, 5 Pockenvirus, 6 Tabakmosaikvirus.



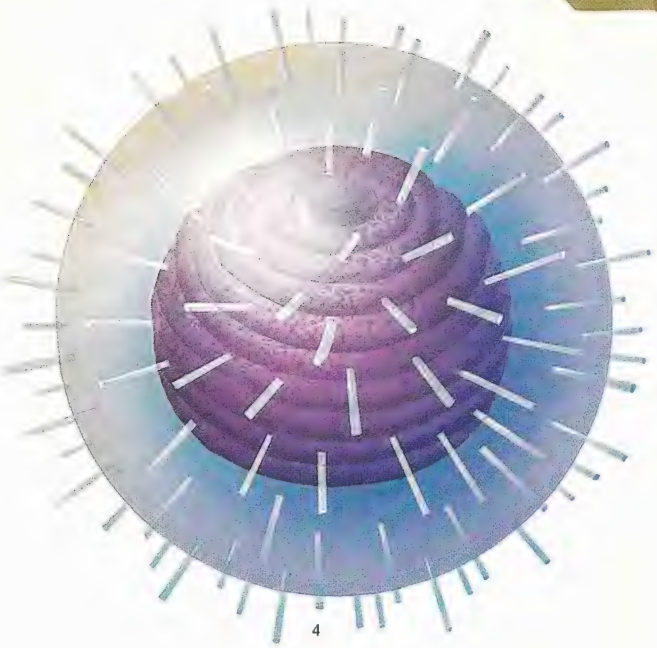
1



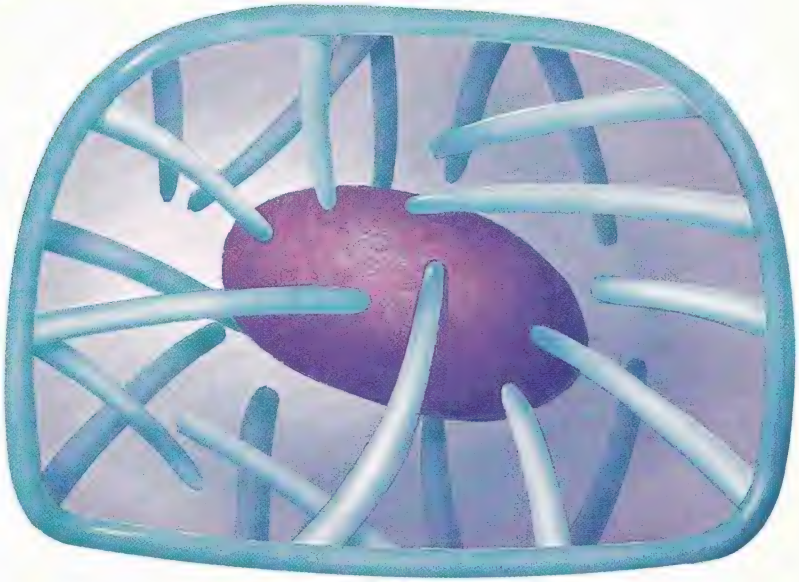
2



3

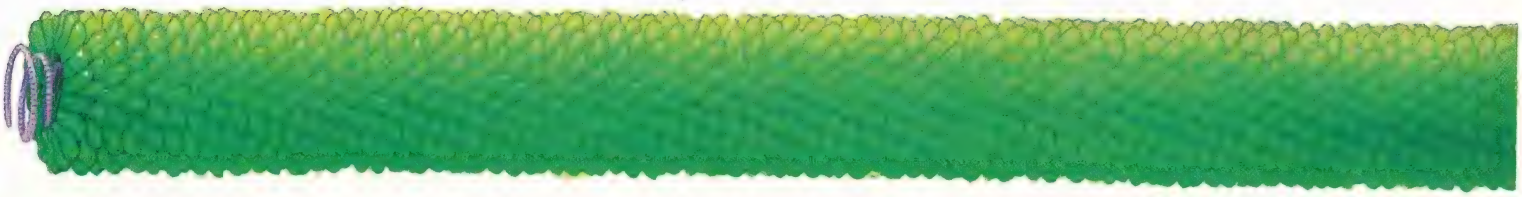


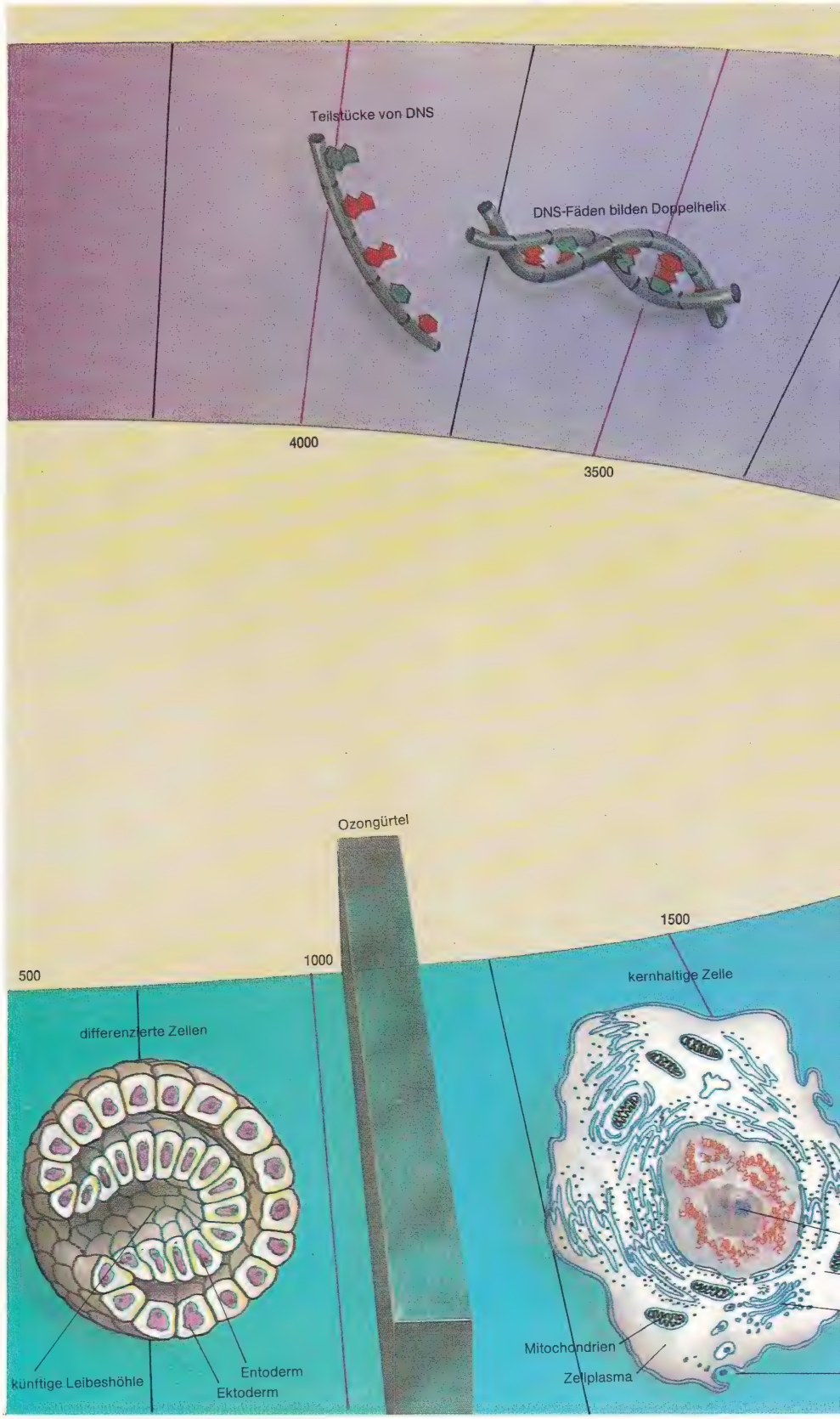
4



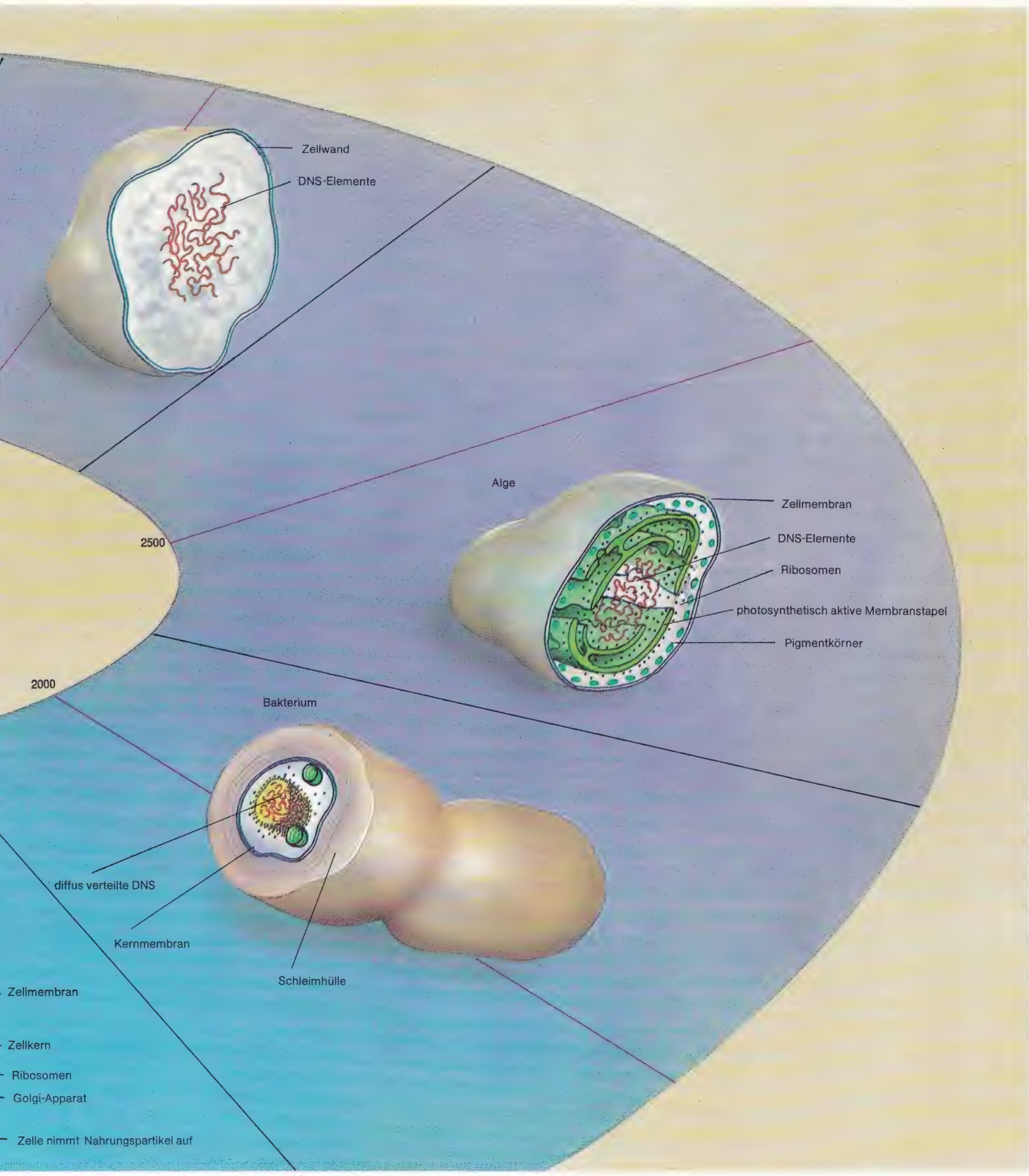
5

6





Die Höhepunkte in der Entwicklung des Lebens vor Millionen von Jahren: von den Nukleinsäuren (DNS und RNS) über die ersten Zellen, Algen und Bakterien bis zu den komplexeren Zellen. Auch die Erdatmosphäre veränderte sich allmählich. Den in der Entwicklung begriffenen Lebensformen wurde das Leben durch die zunehmende Produktion von Sauerstoff leichter gemacht, außerdem auch durch die Entwicklung des Ozonschirms, der entscheidend dazu beigetragen hat, daß unser Planet zu einer idealen Umwelt für komplizierte Organismen geworden ist.


Zellwand
DNS-Elemente
Alge
Zellmembran
DNS-Elemente
Ribosomen
photosynthetisch aktive Membranstapel
Pigmentkörner
2500
2000
Bakterium
diffus verteilte DNS
Kernmembran
Schleimhülle
Zellmembran
Zellkern
Ribosomen
Golgi-Apparat
Zelle nimmt Nahrungspartikel auf

Die Zellorganellen oder das Prinzip der Kooperation

Die Eukaryonten unterscheiden sich auch noch in anderen Merkmalen von den Prokaryonten. Ein feines Netz unterteilt den Zellkörper der Eukaryonten, ein dünnes Häutchen umhüllt den Kern, in dem das Erbmaterial gespeichert ist. Der Zellkörper enthält ausdifferenzierte Strukturen, die als *Organellen* („kleine Organe") bekannt sind. In pflanzlichen eukaryontischen Zellen ist in den Chloroplasten Chlorophyll enthalten. Die Atmung erfolgt bei allen eukaryontischen Zellen in solchen Organellen, die *Mitochondrien* genannt werden. Manche Organellen enthalten Enzyme, die Nährstoffe verdauen, jedoch vom übrigen Zellkörper hermetisch abgetrennt bleiben müssen, damit sie keinen Selbstverdauungsprozeß auslösen. Zu den Zellorganellen zählen weiter-

hin die *Ribosomen,* in denen das Eiweiß synthetisiert wird, sowie einige weitere Strukturen wie die *Zentriolen,* deren Funktion noch nicht eindeutig geklärt ist. Einen großen Teil unseres Wissens über den Zellaufbau verdanken wir dem Elektronenmikroskop. Es bleibt jedoch immer noch viel zu entdecken.

Die Logik der biologischen Evolution sagt uns, daß sich die Eukaryonten aus den Prokaryonten entwickelt haben müssen. Wie aber ist das vor sich gegangen? Der Prozeß hat keine sichtbaren Spuren hinterlassen. Mutmaßungen finden daher breiten Spielraum. Bevorzugt wird von der Wissenschaft heute die sogenannte *Kooperationshypothese,* die besagt, daß sich eine Anzahl von Prokaryonten – von denen jeder auf eine besondere Aufgabe spezialisiert war – zusammengeschlossen haben könnten. Die oben beschriebenen Organellen in den Zellen könnten nach dieser Hypothese die lebenden Überbleibsel von prokaryontischen Zellen sein, die sich so weit spezialisiert hatten, daß sie füreinander unentbehrlich wurden.

Was uns nur als eine einzige, komplexe Struktur erscheint – die eukaryontische Zelle –, wäre demnach nur ein Klumpen von einfachen Zellen, die inzwischen so hochspezialisiert sind, daß sie nur in einer kooperativen Anordnung überleben können. Diese Hypothese entspringt nicht der reinen Phantasie, sondern beruht auf vielen Beobachtungen darüber, daß Prokaryonten, wie die Blaualgen, häufig symbiontisch (wörtlich: „zusammenlebend") mit anderen Mikroorganismen vorkommen. Das bekannteste Beispiel ist die *Flechte,* die eine Symbiose von Blaualgen (oft auch von Grünalgen) und Pilzen darstellt. Dabei versorgt die Alge den Pilz mit organischen Nährstoffen (Kohlenhydrate), während das Pilzgeflecht der Alge als Wasser- und Mineralstofflieferant dient.

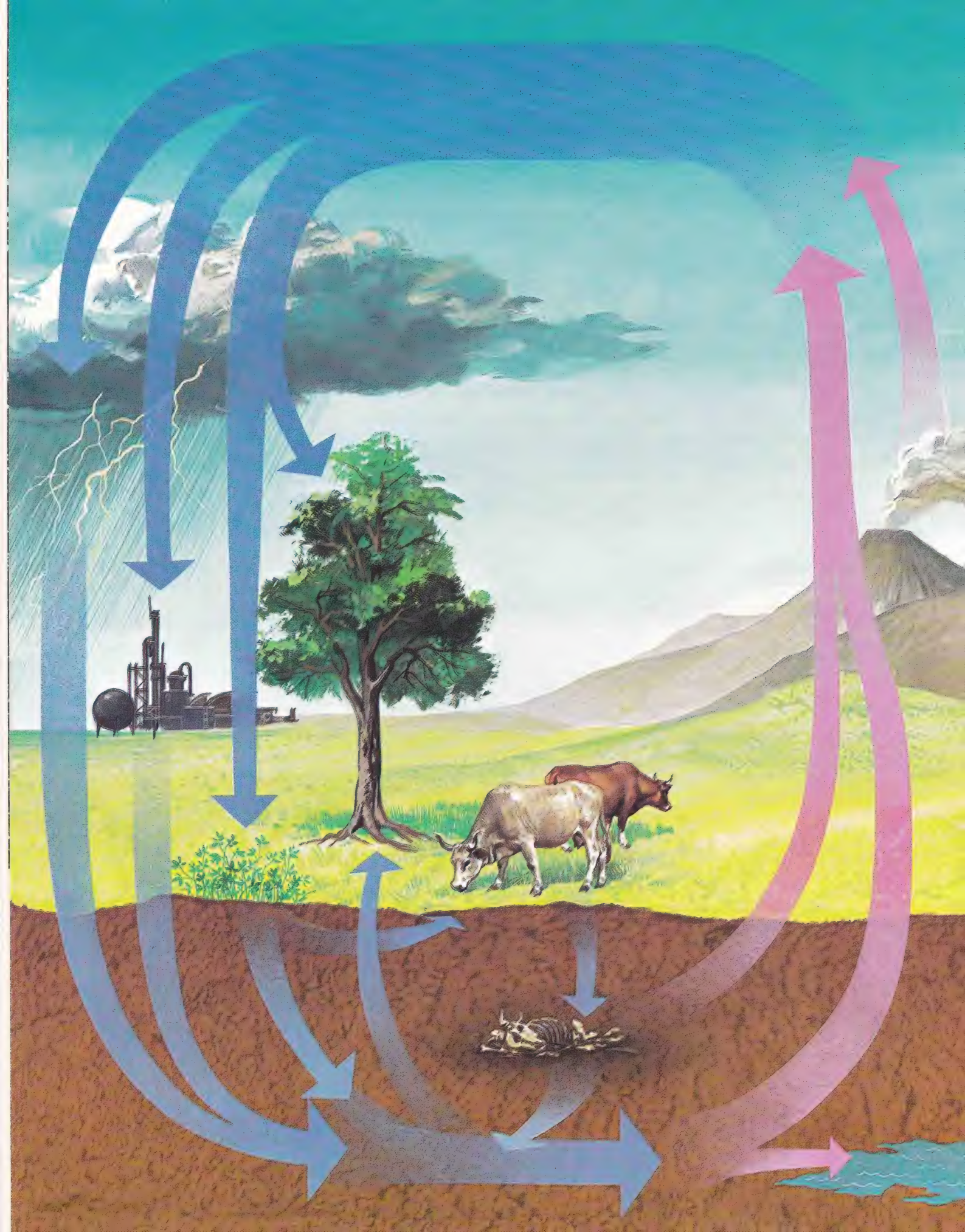
Linke Seite: Flechten auf einem Felsen. Die Flechten sind mit Meeresalgen vergleichbar, die auf dem Festland nur schwer gedeihen können. Sie haben keine Wurzeln, die dem Boden Wasser entziehen könnten, sondern absorbieren mit ihrer gesamten Oberfläche das Wasser aus ihrer unmittelbaren Umgebung.

Das Virus oder die Entflechtung der Zelle

Wenn der Entwicklungsgang der eurkaryontischen Zelle durch Zusammenfügung erfolgte, könnte der umgekehrte Vorgang – die Entflechtung – zum Entstehen des *Virus* geführt haben. Bis vor einiger Zeit glaubte man, daß Viren ein Übergangsstadium zwischen unbelebter und belebter Materie darstellen (da sich Lebewesen von unbelebter Materie dadurch unterscheiden, daß sie sich vermehren können). Heute jedoch sind viele Wissenschaftler der Ansicht, daß Viren eine zurückentwickelte Lebensform darstellen: freiliegende Nukleinsäuren – „verstoßene Teile" von Bakterien –, die auf der Suche nach Zellen umherwandern, in die sie sich einnisten können. Die Nukleinsäuren, aus denen sich das Virus zusammensetzt, dürften genetische Daten darstellen, die keine Verbindung mehr mit Zellstrukturen haben, die zum Stoffwechsel fähig sind. Deshalb also stellen Viren, wenn sie in eine Bakterienzelle eingedrungen sind und deren Kern erreicht haben, die Erbmasse der befallenen Zelle nach ihrem eigenen Plan um, wobei sie den genetischen Mechanismus des Bakteriums dazu ausnutzen, Virenmaterial zu erzeugen. Dadurch vermehren sie sich. Anschließend verlassen sie die zerstörte Zelle, um in andere Zellen einzudringen.

Aus der Entflechtung und der Zusammenfügung prokaryontischer Zellen dürften also einerseits durch Ausdehnung die eukaryontische Zelle und die höheren Organismen entstanden sein, andererseits aber auch die Viren, die in alle Zellen, sowohl in die prokaryontischen als auch in die eukaryontischen, einzudringen vermögen und dadurch deren Existenz bedrohen.

Abb. auf der folgenden Seite: Der Stickstoffkreislauf in der Natur: Stickstoff ist in der Atmosphäre als träges Gas vorhanden, doch können die Pflanzen wenig oder gar keinen Stickstoff aus der Luft aufnehmen (N_2). Sie benötigen den Stickstoff in Form von Ammoniak (NH_3) oder Nitraten (Salze, die NO_3 enthalten). Diese werden von den Bodenbakterien geliefert, die Stickstoff unter direkter Verwendung von N_2 binden. Von den Grünpflanzen wird der Stickstoff an die Tiere weitergegeben, die sie fressen. Durch die Ausscheidungen der Tiere und die Verwesung ihrer Kadaver wird Ammonium (NH_4) an die Umwelt zurückgegeben. In diesen natürlichen Zyklus hat der Mensch die Stickstoffabriken eingefügt, um die landwirtschaftlichen Erträge zu steigern.



Warum die primitiven Zellen überlebt haben

Die Prokaryonten stellen nicht nur ein sehr wichtiges Zwischenstadium in der biologischen Evolution dar. Bis zum heutigen Tag sind sie darüber hinaus ein unerläßlicher Faktor für die Aufrecherhaltung des Gleichgewichts geblieben, das das Leben auf diesem Planeten weiterbestehen läßt. Wie wir bereits gesehen haben, bewältigt die Gesamtmasse der prokaryontischen Zellen einen respektablen Teil des Kohlenstoff- und Sauerstoffkreislaufs. Den prokaryontischen Organismen fällt jedoch eine weitere wichtige Funktion zu, die ausschließlich von ihnen wahrgenommen wird: Die Lebensprozesse haben die Atmosphäre der Erde verwandelt, den Wasserstoff und seine Verbindungen (Methan und Ammoniak) daraus entfernt und dafür Sauerstoff und Kohlendioxid hineingebracht.

Im Verlauf einer derartigen Entwicklung trat in der Atmosphäre freier Stickstoff auf. Dieser einfache molekulare, nicht mit anderen Atomen (z.B. mit dem Wasserstoff als Ammoniak) verbundene Stickstoff ist unschädlich. Bei der Produktion von Eiweißstoffen ist der Stickstoff unerläßlich für das Leben. Die höheren Organismen jedoch, die aus

Oben: Bebaute Felder in Kansas, USA. Flächen, die landwirtschaftlich genutzt werden, fehlt es nicht an Grundnährstoffen, doch sind sie häufig von selbst nicht so reich, daß man dieselbe Frucht mehrmals hintereinander anbauen könnte.

einer oder mehreren eukaryontischen Zellen bestehen, sind jedoch nicht in der Lage, den reaktionsträgen Stickstoff in der Atmosphäre so zu „verarbeiten", daß er sich mit Sauerstoff verbindet und assimilierbar wird. Diese Arbeit wird nur von wenigen Arten von Bakterien geleistet, die im Erdreich leben.

Als vor rund 1 Milliarde Jahren die ersten eukaryontischen Mikroorganismen in Erscheinung traten, gerieten die Prokaryonten in Gefahr. Die Eukaryonten waren in der Lage, sich zum Licht und zur Nahrung hinzubewegen und hatten daher einen Wettbewerbsvorteil. Sie hätten die Prokaryonten ausrotten und in die Geschichte verweisen können. Dies geschah deswegen nicht, weil den Eukaryonten die Fähigkeit fehlte, den in der Atmosphäre vorhandenen Stickstoff zu verarbeiten. Dies löste einen negativen Rückkopplungsprozeß aus: Als die Eukaryonten den Prokaryonten Licht und Nahrung wegnahmen und deren Anzahl unter ein bestimmtes Niveau sank, kam die Verarbeitung des atmosphärischen Stickstoffs in assimilierbare Salze zum Stillstand. Hierunter hatten die Eukaryonten stärker zu leiden als die Prokaryonten, da sie den Stickstoff nicht verarbeiten konnten, und ihre Zahl nahm ab.

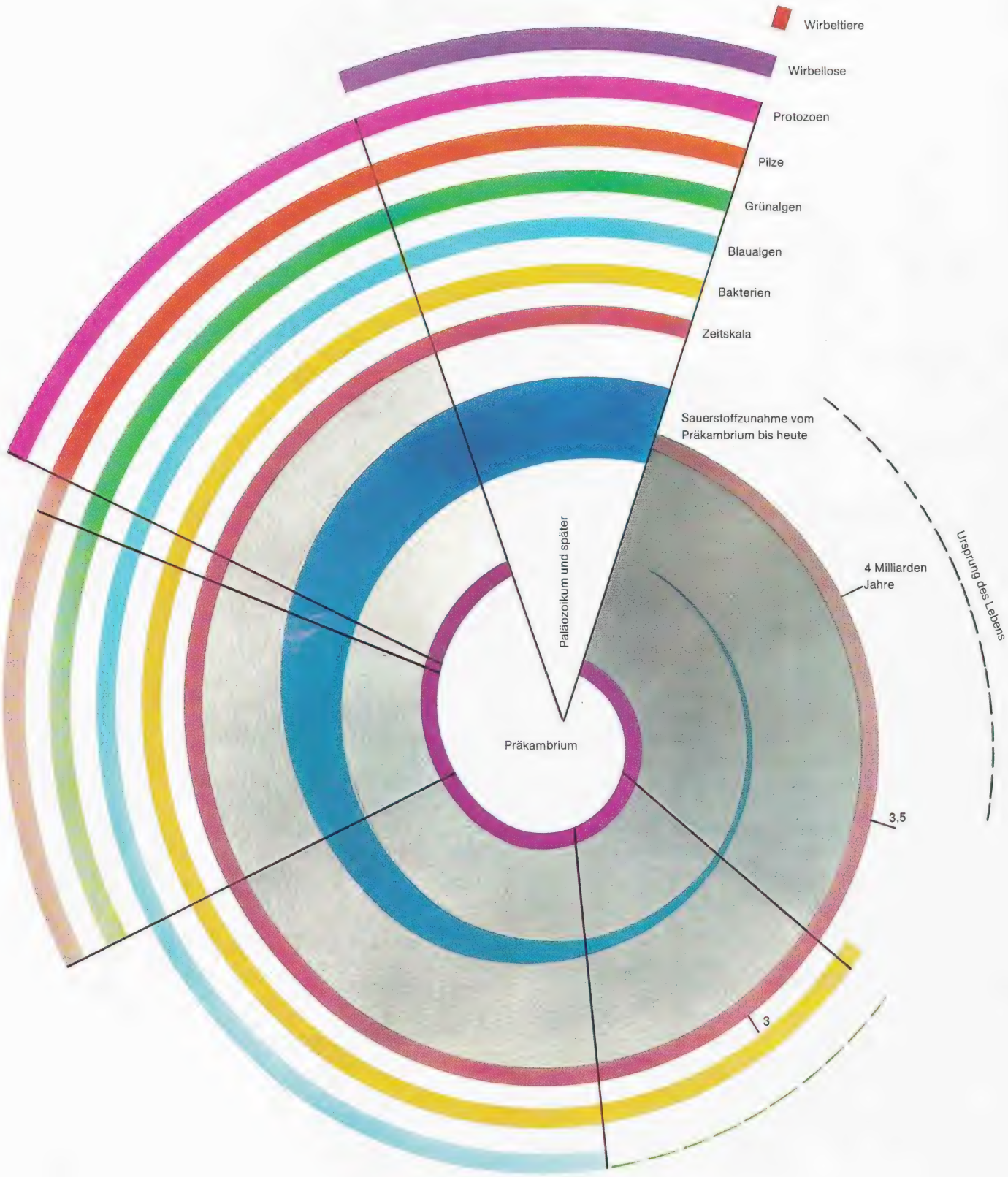
Dadurch verringerte sich der Konkurrenzdruck, den die Eukaryonten ausübten, und die Zahl der Prokaryonten nahm wiederum zu. Nun wurde ein mengenmäßiges Gleichgewicht zwischen den beiden grundlegenden Lebensformen der Prokaryonten und Eukaryonten erreicht. Dieses Gleichgewicht blieb so lange erhalten, bis der Mensch (vor nicht allzu langer Zeit) anfing, Stickstoff industriell zu nitrathaltigem Kunstdünger zu verarbeiten, der in den Boden zur „Bodenverbesserung" eingebracht wurde. Dies ist jedoch ein anderes, trübes Kapitel, mit dem wir uns später zu beschäftigen haben werden.

Ein neues Gleichgewicht des Lebens

In diesem Band haben wir einen bedeutsamen Wendepunkt in der Entwicklung erreicht, die Tatsache nämlich, daß vor 1 Milliarde Jahren die eukaryontische Zelle in Erscheinung trat und ein Gleichgewicht des Lebens zwischen dem „Neuankömmling" und den „Alteingesessenen" hergestellt wurde. Dieser Wendepunkt wurde in jener Epoche erreicht, die wir in der Einteilung der Erdzeitalter das *Präkambrium* nennen. Diese Epoche hinterließ sehr wenig materielle Spuren in Form fossiler Ablagerungen, und doch blieben davon unlöschbare Spuren sowohl in uns selbst als auch in unserer Umwelt zurück. In unserer Umwelt hinterließ sie die Lebensatmosphäre, die sich im wesentlichen aus ungebundenem Stickstoff, ungebundenem Sauerstoff, Kohlendioxid und einem Schutzschirm von Ozon zur Ausfilterung ultravioletter Strahlen zusammensetzt. In uns selbst und in allen lebenden Organismen unserer Umwelt hinterließ diese Epoche fein differenzierte Zellstrukturen und grundlegende Lebensfunktionen: die biochemischen Mechanismen für die Speicherung und Fortpflanzung unserer Erbmasse; den Kohlenstoff- und den Sauerstoffzyklus, also den ständigen Wechsel zwischen Photosynthese und Atmung (biologische Oxydation), sowie den Stickstoffzyklus; den hochentwickelten Mechanismus der Speicherung und Freisetzung von Energie im ATP- und ADP-Zyklus.

Vor 1 Milliarde Jahren erfolgten diese grundlegenden „Auswahlentscheidungen", und das Leben war bereits definierbar – als ein Strom von Materie von einem Organismus zum anderen, der von der ununterbrochenen Energie der Sonne angetrieben wird.

Rechte Seite: Wenn wir die Zeitskala zu einer Spirale aufrollen, so daß sie in das Symbol auf dieser Seite paßt, sehen wir, daß im Quadranten der Evolution zuerst die Bakterienzellen auftauchen, denen später die Blaualgen und Grünalgen, die Pilze, Protozoen (einzellige Tierorganismen), die Wirbellosen und schließlich die Wirbeltiere folgen. Die zunehmende Dicke des blauen Streifens symbolisiert die Bildung von Sauerstoff.


Wirbeltiere
Wirbellose
Protozoen
Pilze
Grünalgen
Blaualgen
Bakterien
Zeitskala
Sauerstoffzunahme vom
Präkambrium bis heute
Paläozoikum und später
Präkambrium
4 Milliarden
Jahre
Ursprung des Lebens
3,5
3

Bibliographie

Abetti, G.: Le stelle e i pianeti, Turin [3]1963
Ageno, M.: L'origine della vita sulla Terra, Bologna 1971
Aloisi, M., u. a.: Dall'origine della Terra all'homo sapiens, Mailand 1958
Beiser, A.: Die Erde, dt. Übers., Amsterdam und Frankfurt 1969
Bergamini, D.: Das Weltall, dt. Übers., Amsterdam und Frankfurt 1968
Bernal, J. D.: The origin of life, Cleveland 1967
Bogen, H. J.: Knaurs Buch der modernen Biologie, München und Zürich 1967
Bondi, H., u. a.: Rival theories of cosmology, London 1960
Cailleux, A.: Der unbekannte Planet, dt. Übers., München 1968
Clayton, K.: Earth's crust, London 1967
Dauvillier, A.: L'origine photochimique de la vie, Paris 1958
Gamow, G.: Die Lebensgeschichte der Erde, dt. Übers., München 1954
Leonardi, P.: Trattato di geologia, Turin 1968
Maffei, P.: Al di là della Luna, Mailand 1973
Nicolson, I.: Astronomy, New York 1970
Nicolson, I.: Erforschung der Planeten, dt. Übers., Stuttgart und Zürich 1971
Omodeo, P.: Lezioni di biologia, Padua 1971
Oparin, A. I.: Die Entstehung des Lebens auf der Erde, dt. Übers., Berlin [3]1957
Padoa, E.: Storia della vita sulla Terra, Mailand 1971
Phillips, O. M.: The heart of the earth, San Franzisko 1968
Ruggieri, G.: Le meraviglie del cielo, Mailand 1973
Ruggieri, G.: La Terra prima di Adamo, Mailand 1973
Schatzman, E. L.: Structure of the Universe, New York 1968
Takeuchi, H., u. a.: Debate about the Earth, San Franzisko 1967
Trevisan, L./Tongiorgi, E.: La Terra, Turin 1958
Urey, H. C.: The planets, their origin and development, New Haven 1952
Wald, G., u. a.: Molecole e vita, Bologna 1968
Wegener, A.: Die Entstehung der Kontinente und Ozeane, Braunschweig [5]1936
Atlante Mondadori dell'Universo, Mailand 1970
International Symposium on the origin of life on the earth, Moskov 1957. Proceedings, hrsg. v. Oparin, A. I., London, New York 1959

Bildquellennachweis

BILDTAFELN UND ZEICHNUNGEN

Arvati, Verona: 16, 32/33, 34, 36, 40, 41, 44/45, 64, 65 (oben), 70, 71, 125 (oben), 136, 146, 152, 157 (rechts), 167, 172 (links); Cattaneo, Bergamo: 158/159, 233, 256; Corbella, Mailand: 11, 12, 19, 21, 24, 30, 50, 66, 69, 82/83, 92, 100, 102 (links), 104, 130/131 (oben Mitte), 148, 192 (oben), 206, 212, 238, 240, 241, 242 (unten), 246, 248, 251; Curiel, Verona: 157 (links), 160 (links), 165, 166 (oben), 208, 213, 215, 216; Di Ciancio, Mailand: 22/23, 48/49, 54, 55, 65 (unten), 75, 96/97, 112/113, 115, 150/151, 154, 161, 162, 164; Fedini, Mailand: 28, 60/61, 72/73, 76/77, 81, 82, 84/85, 102 (rechts), 110, 166 (unten), 168, 169, 170/171, 172 (rechts), 176, 202/203, 211, 217, 220/221, 222/223, 226/227, 252/253, 259; Ghiringhelli, Mailand: 7, 43, 234, 235, 236 (unten), 237; Morati, Verona: 184, 244; Pistoia, Mailand: 185; Scharff, Varese: 132, 134, 249; Sergio, Mailand: 14/15, 90 (rechts), 101, 118/119 (oben), 120, 124/125 (unten), 126, 127, 144, 180/181, 230, 231 (oben), 236 (oben).

FOTOGRAFIEN

Aldus Books, London (Aldus Publishing House, London): 86, 201; Associated Press, London: 135; Authenticated News, New York: 90 (links); Bonatti, Mailand: 114; California Institute of Technology and Carnegie Institution of Washington: 25, 37, 38, 39, 42, 46, 52, 53, 58, 59; Dalle Vacche, Livorno: 188; Dani-Mondadori, Mailand: 247; Fawcett, aus *The Cell*, W. B. Sauders Co.: 177; Frezzato, Bergamo: 197, 204, 228, 245; Giraudon, Paris: 57; Hughes Aircraft Co., Los Angeles: 80; Maspons-Ubinã: 182; Micek, Innsbruck: 9, 87, 94, 105, 131 (oben rechts); Mondadori-Archiv, Mailand: 99, 118 (unten), 121, 142/143, 145, 207; NASA Photo Laboratory: 4, 6, 17, 18, 26, 27, 78 (unten), 88, 93; Orion Press, Tokio: 205 (unten); Pictor, Mailand: 10, 12 (rechts), 35, 62, 94 (links), 98, 107, 108, 111, 116, 123, 131 (unten rechts), 136/137 (Dorman), 140, 142 (links oben, Giovenzana), 156 (Everts), 193, 199, 229, 243, 254, 257; Pucciarelli, Rom: 149, (Edistudio-Barcelona) 190, 194/195; Quilici, Rom: 231 (unten); Ricciarini, Mailand: 31, 103, 128/129, 130, (Afsen Maltini-Solaini) 183, (Bevilacqua) 139, 191, 242 (oben), (Cirani) 138, 147, 153, 155, 160 (rechts), 186/187, (De Gregorio) 196, 219, (L'Esperto) 174, (Robba) 250; Rossi, Mailand: 179, 224; Tomsich, Rom: 210.

Register

Kursive Seitenzahlen beziehen sich auf Bilder oder Zeichnungen.

Abbaustoffwechsel 190
Adenin *168/169*
Adenosindiphosphat s. ADP
Adenosintriphosphat s. ATP
ADP *217*, 218, *222/223*
Albinismus *182*
Algen *205*, 228, *233*
alkoholische Gärung 197, *216*
Aminosäurekette *166*
Aminosäuren 119, 121, 166, 167, 181
Ammoniak 106, 115, 117, 157, 158, 159, 191, 257
Anchorage *12*
Andromeda *39, 40*
Antarktis 126
antibakterielle Arzneimittel 186
Antibiotika 232
äolische Erosion 109
Apollo 5, *18*, 79, *88*, 89
Äquinoktien *21*
Aristoteles 8, 20, 141
Asimov, I. 220
Asteroiden 80, *81, 82*
Astronauten *88*
Atmosphäre 13, 19, 109, 162
Atmung 190, 207, 214, *220/221, 222/223*
Ätna 8, *9, 87*
ATP *217*, 218, *222/223*
Augenfleck 244
Ausgasen 89
australische Wüste *114*
autotroph 189, 201, 232, 234

Bacon, F. 122
Bakterien 185, 186, 201, 246, 247, 250, 255, 258, *259*
Barnards Pfeilstern 38
Barringer-Krater *80*
Basalt 96, *99, 100*
Basaltlava 96, *98*
Becquerel, A. H. 84
Bernal, J. D. 140
Bernard, C. 197
biologische Oxydation 227, 258
Black Hills *99*
Blatt *202/203, 210*
Blattgrün 208
Blaualgen 200, *201*, 204, 205, *206*, 213, 255
Bodenproben *101*
Botticelli *142/143*
Bryce Canyon *156*
Buffon, G. L. L. 144
Buttersäure 198
Buttersäuregärung 198

Caldera *102, 103*
chemische Evolution 173
Chlor 149
Chlorobakterien 200
Chlorophyll 205, 207, *208*, 209, 225
Chloroplasten 209, *212, 242*
Chromosomen *238, 246*, 247
Clostridium tetani s. Tetanusbakterien
Code des Lebens 178
Coma Berenices *53*
Crater Lake *103*
Cytosin *168/169*

Desoxyribonukleinsäure s. DNS
Deuterium 51
Diskontinuität 12
DNS *167, 168/169, 170/171, 172*, 173, 184, 185, 186, 188, 189, 245, *252/253*
DNS-Polymerase 184
DNS-Triplett 184
Doppelhelix 167, 169, *170/171*
Doppelschraube s. Doppelhelix
Dunkelreaktion 209

Eierstock *139*
Eisen 183, 214
Eiweiße s. Proteine
Energieachterbahn 219
Enkeladus 8
Enzyme 165, 166, 180, 183, 184, 185, 186
Enzyminduktion 188
Erbübertragung 188
Erdanziehungskraft s. Gravitation
Erdatmosphäre 13, *14/15*, 31, 82, 106
Erdbeben 10, *12*
Erde *4*, 5, *6*, 16, *19*, 20, 21, 63, 68, 83, 154
Erdentstehung *84/85*
Erdinneres *11*
Erdkern *11*, 13
Erdkruste 10, *11*, 96, 97, *100*
Erdkugel *11*
Erdmantel 12
Erdoberfläche 10, 114
Erdumlaufbahn *21*
Erosion *111, 114*, 127, *130, 131*
Escherichia coli *245*
Essiggärung 198
Essigmutter 197
Euglena *242*, 244, 245
Eukaryonten *238*, 239, *240*, 250, 254, 255, 258
Evolution 206, 225, 237
Evolutionstheorie 47
Exosphäre *14/15*

Fette 165
Fettmolekül *166*
Fixsterne 32
Flechten *254*, 255
Fluchtgeschwindigkeit 91
flüssige Erdphase 88
Forschungsballon *90*
Forschungsschiff *101*
Fortpflanzung 178, 245, *246*
Fossilien 131

Galaxie *34,* 36, 38, 39, *40,* 41, 42, 43, *44/45,* 47, *48/49, 50, 53, 55,* 74
Gärung *184/185,* 194, 196, 197, 198, 199, 200, 216
Gasnebelhypothese 66
Gaswolken *75*
Geißel 241, *242,* 243, 244
geologische Uhren 100
Geysire 8, *10*
Giraffen *186/187*
Glucose 190, 191, 192, 198, 200, 207, 209, 213, 214, 215, 218, 219, *220/221,* 225, 226, 227, 234
Glykolyse 214, 216, 217, 219, 225
Golgi-Apparat *238, 240*
Gondwanaland 126
Grana 209
Granit 97, *99, 100*
Gravitation *19,* 20
Großer Bär 33
Grünalgen *259*
Guanin *168/169*
Guano *218*

Haber, H. 84
Haldane, J. S. 159
Halo 39
Hämoglobin *208*
Hawaii 97
Hefe *187,* 196, 197, 200, 216
Heimaey *10*
Helium 51, 91, 106, 148, 154
Helmont, J. B. van 207
Hephäst 8
Herodot 133, 173
heterotroph 189, 232, 234
Heterotrophismus 230, 232, 237
Himmelskarte 38
Hooke, R. *145*
Hualalai 97
Hydra 43
Hydroxylgruppe 149

Ikeya *27*
Ionosphäre *14/15*

Jahreszeiten *21*
junge Sterne *36*
Jupiter 21, 25, 26

Kalium 149
Kant-Laplacesche Theorie *65,* 66, 67
Kap Kennedy *93*
Karotinoide 209
Katalysatoren 165, 166, 180
Kathedralschlucht *111*
Kilauea 97, *107*
Koazervate 175
Kohlendioxid 13, 115, 190, 192, 201, 207, 208, 209, 212, 213, 214, 219, 227
Kohlendioxidempfänger 212
Kohlenhydrate 31, 165
Kohlenmonoxid 201
Kohlenstoff 31, 115, *118/119, 146,* 148, 157, 158, 159, 165, 166, 228
Kohlenstoffzyklus *233,* 234
Kometen *27,* 28, *92*
Kometenschweif *92*
Kondensationskern 59
Kontinentalverschiebung 122, 124
Konvektionsströmungen 95, 109, 122, 124, *125,* 126
Kooperationshypothese 255
Kopernikus, N. 20
kosmische Zeittafel 52
Krakatau 103
Krebsnebel *38*
Kugelsternhaufen 39, *52*
Kuiper, G. P. 71

Lagunennebel *59*
Laugen 149
Laurasia 126
Lava 86, 100, *104, 105, 107*
Leben 117, 137, 140, 141, 146, 148, 153, 154, 158, 175, 178, 225, *252/253*
lebende Moleküle 153, 162
lebende Zellen 189
Leeuwenhoek, N. 143
Lemaître, A. G. 47
Leucin *118/119*
Lichtjahr 32
Lichtreaktion 209
Lichtwellen 43
Liebig, J. von 196
Lipide 165
Little Canyon *130*
lokale Gruppe *40,* 42
Lukrez 8
Lunik 92

M 31 *39,* 41
Machina speculatrix *244*
Magellansche Wolken *40,* 42
Magma 12, 86, *104*
magnetische Kraftlinien 68, *70, 71*
Magnetosphäre 68, *73,* 91
Mammutbaum *211*
Manteltiere *183*
Maria 19
Mariner 92
Mars 24, *25,* 154
Marskrater *25*
Martinique 104
Mauna Kea 97
Mauna Loa 97
Mendel-Gesetze *184*
Merkur 24, 74
Meteoriten 28, 80, 82, 106
Meteoritenkrater *80, 102*

Methan 106, 115, 117, 157, 158
Micrographia *145*
Mikroben 144, 232
Mikroorganismen 144, 145, 191, 197, 198, 200, 201, 232, 234
Mikroskop 143, *145*
Mikrowellenhintergrund 56
Milchsäuregärung 214
Milchstraße s. Galaxie
Miller, St. 117, 160
Mitochondrien *238, 240,* 254
Mitose 246
Moho 12
Mohorovičić 12
Molekülketten 163, 165
Molekülsuppe 121
Mond 5, 16, *17, 19,* 20, 21, *26,* 75, *78, 79, 108*
Monddurchmesser 16
Mondentstehung *78/79*
Mondgestein *78*
Mondlandefahrzeug *18, 88*
Mondlandschaft *6*
Mondoberfläche *26*
Mondphasen *19*
Mondseen s. Maria
Monomere 163
Mont Pelé 104, 105
Moreno-Eiskappe *147*
Mount Everest *128/129*
Mount-Palomar-Teleskop *42*
Mount Rushmore *99*
m-RNS *172*
Mutation 184

Nebel s. Nebulae
Nebelhaufen *75*
Nebulae 38, 54
Needham, J. T. 144, 145
Neptun 25
Nordlicht *14/15*
Nukleinsäuren 121, 167, *252/253,* 255
Nukleotidbase *168/169*
Nukleotide 119, *167*
Nyiragongo 96

Olivin 95
Oparin, A. I. 117, 141, 159
Orangit *86*
Organellen 255
Orionnebel *37*
Orthoklas *86*
Ozeane 114
Ozon *230*
Ozonschicht *14/15,* 117, 121
Ozonschirm 230, *231,* 234, *252/253,* 258

Pangäa 122, *124,* 126
Paramecium *248*
Paraná *155*
Parasiten 232
Parkes-Teleskop *35*
Pasteur, L. *144,* 194, 195, 197, 198
Penelope 228
Pflanzen 232
Phloem *202/203*
Phosphate 216, 217
Phospholipide 175, *176,* 177
Phosphor *146,* 217
Photolyse 209, *210,* 213
Photosynthese 107, 200, 201, *202/203,* 204, 205, *206,* 207, 209, *211,* 214, *220/221,* 225, 243
Phytoflagellaten 241, 243
Pilze *259*
Planeten 21, *22/23, 24,* 63, *64, 65,* 67, *69,* 71, *76/77,* 89
Planetenentstehung *69, 76/77*
Planetoiden *82*
Plejaden *36*
Pluto 21, 26
Polymerasen 181, 183
Polymere 163, 230
Polymerisierung 180, 183
Polysaccharide 165
Präkambrium 258
Priestley, J. 207
Prokaryonten *182,* 205, 239, 254, 255, 257, 258
Proteine 121, 166
Protozoen *259*
Protuberanzen *30, 62,* 91
pulsierendes Universum *54,* 56
Purpurbakterien 200
Pyruvat 219, 220

Quasar *46,* 55

radioaktive Stoffe 85, 95
radioaktive Uhren 53, 85
Radioaktivität 86
Radioteleskop 38, 52
Rakete *236*
Redi, F. 142, 143
Ribonukleinsäure s. RNS
Ribosomen *238,* 255
Rigel 33
Rio Iguaçu *153*
RNS 167, 189, *252/253*
Rückkopplung *234, 235, 236, 237,* 244, 258

Saint-Pierre 104, 105
Salinenkrebs *142*
Salzsäure 149
Samenzellen *140*
San Salvatore *123*
Saturn 21, 25, 26, *28*
Saturn V *93*
Saturnringe 26, *28*
Sauerstoff 13, 31, 107, *146,* 148, 165, 166, 190, 192, 198, 207, 208, 209, 227, 230, 237
Sauerstoffdefizit *199,* 215
Säuren 149

Schalenstruktur der Erde *11*
Schwanenhalskolben *144*
Schwefel *146*
Schwefelquellen *160*
Schwefelwasserstoff 157, 158
Schwerkraft s. Gravitation
Seismograph 11
Selektion 184
Sexualität 246, 247, 250
Siebengestirn s. Plejaden
Sintflut *115*
Sonne *22/23,* 29, *30,* 32, 36, 56, 57, 59, *60/61, 62,* 63, *66,* 68, 70, 71, 74, *76/77,* 91, 92, 154
Sonnenatmosphäre 91
Sonnenenergie 29, 225
Sonnenfilament 67, *69*
Sonnenlicht *121,* 228
Sonnenrotation *66*
Sonnenstrahlung *120*
Sonnensystem *24, 41,* 47, *60/61, 65, 75,* 154, 156
Sonnenwind *73,* 74, 91, *92*
Spallanzani, L. 144, 145
Spaltungstheorie 79, 89
Spermien s. Samenzellen
Sporen *204*
stationäres Universum 54, *55*
Sternbilder *32/33*
Sterne 32
Sternschnuppen *14/15,* 82
Sternwolken 41
Stickstoff 13, 115, *146,* 148, 157, 159, 166, 214, 257, 258
Stickstoffbasen *168/169*
Stickstoffkreislauf *256*
Stoffwechsel *215, 220/221*
Strahlungsenergie 85
Strata 131
Stratosphäre *14/15, 16*
Surtsey *94*
Symbiose 255

Tambora 105
Tetanusbakterien 189, *191*
Thymin *168/169*
Tiere 232
Tierkreiszeichen *32/33*
Tierzelle *118*
Torbernit *86*
Trifidnebel *58*
Tripletts 169
t-RNS *172*
Troposphäre 13, *14/15*
Tunikaten s. Manteltiere

ultraviolette Strahlen 115, 117, 121, 162, 163, 176, 200
universelle Gravitation 20
Universum 7, 46, 47, *48/49,* 51, 52, *54, 55,* 56
Unsterblichkeit 247
Unstetigkeitsfläche 12
Uran 85
Uranit *86*
Uranus 25
Uratmosphäre 89, 94, 117, 156
Uratom 47
Urerde 83, 86, 89, 95, 100, 106, 109, *110, 112/113*
Urey, H. 117
Urflut *115*
Urgaswolke *76/77*
Urkern 47
Urknall 49, 51
Urknalltheorie 47, *48/49,* 56
Urmeere 131
Urnebel *76/77*
Urnebeltheorie 67
Ursonne *76/77*
Ursuppe *162,* 163, *164,* 199, 215
Urzeugung 141, 142, 144, 145, 198

Vanadium 183
Van-Allen-Gürtel 68, *73*
Venus 24, 74, 154
Virchow, R. 133
Viren *250, 251,* 255
Vulkanausbruch *9, 87, 94,* 103
Vulkane 8, 86, 101, 103, *104,* 106, *183*
vulkanische Kegel *104*
Vulkankrater *102*

Wasser 148, 149, 153, 157, 158, 159
Wasserdampf 110, 117
Wasserkreislauf 157, *158/159*
Wassermolekül *148*
Wasserreserven *157*
Wasserstoff 29, 59, 91, 106, 115, 117, *146,* 148, 154, 156, 157, 158, 159, 165, 166, 212, 219
Wasserstoffempfänger 209, 212, 219
Wegener, A. 123
Weizsäcker, C. F. Freiherr von 51, 71
Wetter 16
Wirbellose *259*
Wirbeltiere *259*

Xylem *202/203*

Zeitskala *259*
Zellkern 245
Zellmembran *177*
Zellorganellen 254
Zellteilung 245
Zellulose 228
Zentriolen *238, 241,* 245, 255
Zeus 8
Zielsuchgerät *236*
Zooflagellaten 241
Zucker 165, *215*
Zuckermolekül *165*
Zweiteilung 246

Die Geheimnisse der Urzeit

Band 1:
Der Ursprung des Lebens

Band 2:
Das Leben im Meer

Band 3:
Amphibien und Riesensaurier

Band 4:
Säugetiere und Urmenschen

Band 5:
Die Morgendämmerung der Kultur

Die Geheimnisse der Urzeit:

DAS LEBEN IM MEER

Die Geheimnisse
der Urzeit

Band 2

DAS LEBEN IM MEER

Fackelverlag

Die Geheimnisse der Urzeit

Band 1: Der Ursprung des Lebens
Band 2: Das Leben im Meer
Band 3: Amphibien und Riesensaurier
Band 4: Säugetiere und Urmenschen
Band 5: Die Morgendämmerung der Kultur

Die Originalausgabe dieses in mehreren Sprachen veröffentlichten Werkes umfaßt 20 Bände und erscheint unter dem Titel
Il pianeta dell'uomo
im Verlag Arnoldo Mondadori Editore, Verona.
Herausgeber: Mario Andreose
Redaktion und Bildbeschaffung: Margherita Forestan und Fabrizio Tolu
Graphische Gestaltung: Maurizio Turazzi
Layout: Franco Morati

Originaltexte dieses Bandes von Laura Conti und Guido Ruggieri.
Deutsche Übersetzung von Ragni Maria Gschwend und Inge Nissen unter Mitwirkung von Dagmar Aust.

Sonderausgabe für den Fackelverlag, Stuttgart

Alle Rechte vorbehalten.
Nachdruck, auch auszugsweise, nicht gestattet
© 1975 Europa Verlag
Deutsche Übersetzung © 1977 Bibliographisches Institut AG, Zürich
Satz: Bibliographisches Institut AG, Mannheim, und Beltz-Druck, Hemsbach (Photosatz Linotron 505TC)
Gesamtherstellung: Arnoldo Mondadori Editore, Verona
Printed in Italy

Inhalt

Verschiedene Arten, die Welt zu betrachten 5

Das Erbe der archaischen Periode und des Präkambriums 33

Das Kambrium 67

Die Erde im Ordovizium und die ersten Wirbeltiere 133

Das Auftreten von Fischen im Ordovizium 145

Das Silur: Seeskorpione und Fische im Vormarsch 163

Die Entwicklung der Fische im Silur: Vorspiel zur Evolution der Wirbeltiere 173

Gliederfüßer und grüne Pflanzen erobern das feste Land 183

Im Devon: Das Leben in den Meeren und die Ausbreitung der Gliederfüßer 201

Die Pflanzenwelt des Devons 213

Der Wandel der Panzerfische im Devon 227

Der Entwicklungsschritt vom Fisch zum Amphibium 241

Bibliographie 261

Bildquellennachweis 263

Register 264

Verschiedene Arten, die Welt zu betrachten

Logik und Beobachtung

Es gibt verschiedene Arten, die Natur kennenzulernen, doch die beiden wichtigsten sind die *Logik,* die von der Feststellung bestimmter Gegebenheiten ausgeht und daraus Rückschlüsse auf die Ursachen und Wirkungen zieht, und die *Beobachtung* der Naturobjekte. Sie sind miteinander verflochten, da die Voraussetzungen für die logischen Schlußfolgerungen erst durch die Beobachtung geschaffen werden.

Dazu zwei Beispiele: Die Optik (jener Zweig der Physik, der sich mit den Eigenschaften und dem Verhalten des Lichts befaßt) geht von einigen grundlegenden Gegebenheiten aus, z.B. von der Beobachtung, daß sich das Licht geradlinig ausbreitet, aber seine Richtung ändert, sobald es von einem Medium in ein anderes übergeht (von Luft in Wasser, von Luft in Glas usw.). Das führt dazu, daß sich die Optik einerseits z.B. mit den Eigenschaften der Linsen, andererseits mit der Natur des Lichts selbst befaßt. Ganz allgemein gesprochen, wird in der Chemie und Physik, in den Naturwissenschaften also, die sich mit der unbelebten Materie befassen, folgende Methode angewandt: Der Wissenschaftler geht von der Beobachtung aus und studiert die Gegebenheiten, bis er erkennt, daß sich bestimmte Wirkungen nur aus ganz bestimmten Ursachen ergeben können.

Befaßt man sich dagegen mit der lebendigen Natur, dann ist das Feld der unmittelbaren Beobachtung weit größer, der Spielraum für logische Schlußfolgerungen dagegen begrenzter. In diesem Fall handelt es sich um sogenannte „beschreibende" Wissenschaften. So sagen wir z. B. vom Menschen, daß er fünf Finger an jeder Hand und fünf Zehen an jedem Fuß hat. Aber was ist der Grund dafür, daß der Mensch gerade fünf und nicht vier oder sechs Finger und Zehen hat? Sicher, wir können sagen, der Mensch hat fünf Finger, weil schon sein vormenschlicher Vorfahr fünf Finger besaß. Doch warum hatte dieser Vorfahr nicht vier oder sechs Finger? Wir können auf den Vorfahren des Vorfahren zurückgehen, aber, wie weit wir auch immer die Spur zurückverfolgen, irgendwann müssen wir erkennen, daß wir nicht wissen, *warum* ein bestimmtes Lebewesen zu einem bestimmten Zeitpunkt der Evolution eine Gliedmaße mit fünf Fingern anstatt mit sechs oder mit vier ausgebildet hat.

Die Gelehrten wenden sich der Natur mit leidenschaftlicher Neugier zu, die ihren Ausdruck in der Genauigkeit und Strenge des wissenschaftlichen Denkens findet. Die Künstler dagegen betrachten die Natur voller Staunen und erleben sie mit der ganzen Fülle ihrer Phantasie. In den Augen des zeitgenössischen jugoslawischen Malers Ivan Rabuzin verwandelt sich die Natur in eine Märchenlandschaft.

Links: Erst im 17. Jahrhundert endeckte man, daß sich auch die Pflanzen auf geschlechtlichem Wege vermehren. Im 18. Jahrhundert führte der Naturforscher Linné das „Sexualsystem" zur Klassifikation der Pflanzen ein. Er unterschied dabei zwischen Pflanzen „mit öffentlicher Vermählung" (Blütenpflanzen) und Pflanzen „mit heimlicher Vermählung" (blütenlose Pflanzen), je nach der Größe und Sichtbarkeit der Fortpflanzungsorgane.

Rechts: In seinem Werk „Phytognomonica VIII libris contenta" weist der italienische Physiker Giambattista Della Porta (1535–1615) auf einige merkwürdige Übereinstimmungen zwischen den Organen bestimmter Pflanzen und anatomischen Einzelheiten beim Menschen und bei Tieren hin.

Vielleicht gibt es überhaupt keine eindeutige Antwort, oder es gibt sie, und wir können sie nur nicht erkennen. Möglicherweise werden wir in einer späteren Zeit viele solcher „Warums" beantworten können, die uns heute noch rätselhaft sind. Vielleicht werden wir es eines Tages beim Betrachten eines urzeitlichen Fossils ganz „logisch" finden, daß sich aus einem solchen primitiven Organismus die Lebewesen entwickelt haben, die wir heute kennen.

Mag sein, daß eines Tages auch der Biologe wie der Physiker zwingend von den Ursachen auf die Wirkungen schließen kann und mit der gleichen Sicherheit von den Wirkungen zurück auf die Ursachen. Aber wer sich heute mit den lebenden Organismen der Gegenwart wie der Vergangenheit befaßt, hat keine solche Befriedigung zu erwarten. Er bewegt sich vielmehr voller Unsicherheit in einem Meer aus Formen und Funktionen, deren Entstehung ihm rein zufällig vorkommen muß. So kann er sich nur darauf beschränken, sie zu beschreiben.

Im vorhergehenden Band über den Ursprung des Lebens haben wir vor allem „nachgedacht". In diesem Band werden wir in erster Linie

Die Zunahme an Forschungsreisen im 18. Jahrhundert und das allgemeine Interesse der Gebildeten an exotischen Tieren haben wahrscheinlich den italienischen Maler Pietro Longhi (1702–1785) zu dem Bild „Maskierte Besucher in einer Menagerie" angeregt.

„beschreiben". Wenn wir dem Ursprung des Lebens aus der unbelebten Natur nachgehen, dann geraten wir zunächst in ein Grenzgebiet zwischen Geologie und Biologie. Sobald wir jedoch diese Grenze hinter uns lassen, befinden wir uns auf rein biologischem Feld, das heißt inmitten einer verwirrenden Fülle von unterschiedlichen Formen.

Im vorhergehenden Band haben wir gezeigt, daß die Bedingungen, die den Übergang von einer Atmosphäre aus Methan und Ammoniak in einen Regen aus Aminosäuren bestimmten, im Labor nachvollzogen werden können. Bei dem Übergang von einer prokaryontischen zu einer eukaryontischen Zelle oder von einem einzelligen zu einem vielzelligen Organismus handelt es sich jedoch um so langwierige und komplizierte Prozesse, daß sie unmöglich im Labor nachvollzogen werden können.

Das ist der Grund, warum sich dieser Band mehr mit Beschreibungen als mit theoretischen Erörterungen befassen wird. Wir werden uns auch unsere alten Freunde, die Bakterien und die urzeitlichen Algen, wieder vornehmen, in der Hauptsache, um herauszufinden, welche Spuren sie hinterlassen haben.

Die Fossilien zwischen Mythos und Wissenschaft

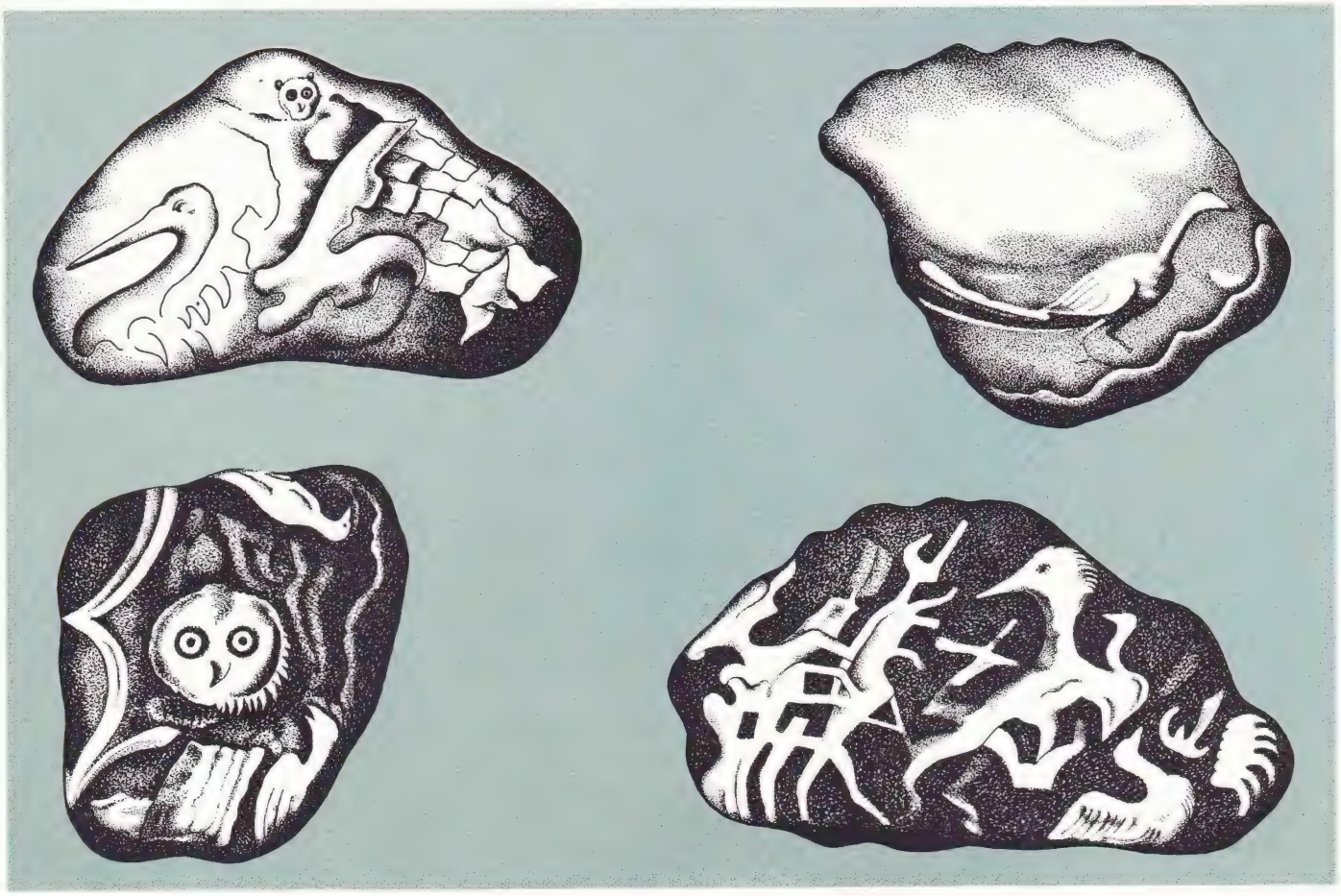
Rechte Seite: Astrangia lineata, eine Koralle des Miozäns. Die Korallen gehören zu den Hohltieren, die sich bereits im Präkambrium entwickelten. Sie sind mit einer Leibeshöhle ausgestattet und leben in Kolonien oder Stöcken, wobei sie Skelette aus Calciumcarbonat absondern, die manchmal lebhaft gefärbt sind.

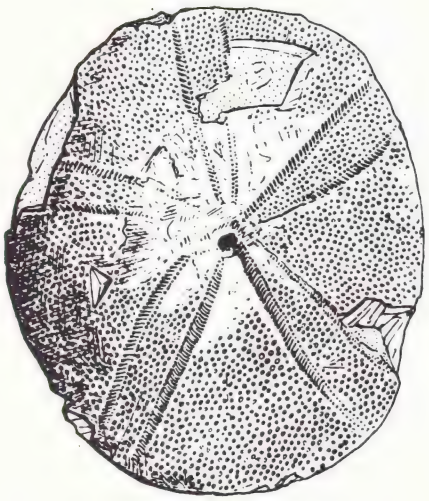
Unten: So sah der deutsche Jesuit und Universalgelehrte Athanasius Kircher (1602–1680) die Fossilien: als seltsame und phantastische Darstellungen (nachgezeichnet aus „Mundus Subterraneus", 1664).

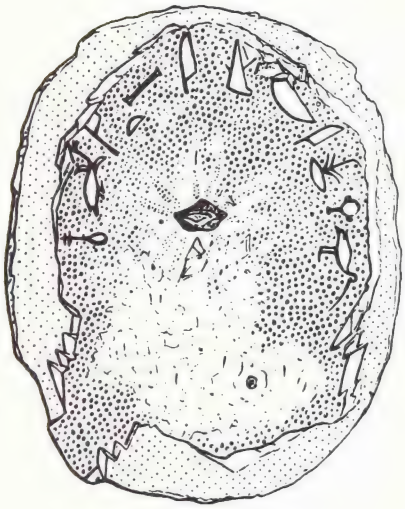
Seit jeher übten Fossilien (das Wort leitet sich von dem lateinischen Verb fodere „graben, ausgraben" her) eine große Faszination auf die Menschen aus, die schon bald anfingen, sie zu sammeln und als Ziergegenstände und Schmuckstücke zu verwenden. Bereits in der Steinzeit erregten die Versteinerungen längst ausgestorbener Tiere ein so großes Interesse, daß die Menschen sie sogar bei ihren Wanderzügen mit sich führten.

In der Antike stießen Männer, die in Steinbrüchen und Bergwerken arbeiteten, oft auf Versteinerungen; es ist nachgewiesen, daß im alten Ägypten Fossilien gesammelt und ihre Fundorte festgehalten wurden. Die griechichischen und römischen Gelehrten besaßen bereits eine ziemlich genaue Vorstellung vom Ursprung der Fossilien, doch im Mittelalter gingen diese Erkenntnisse wieder verloren.

Abgesehen von wenigen Ausnahmen (eine davon war der italienische Dichter Giovanni Boccaccio, 1313–1375), faselten die Gelehrten nun etwas von einem „spiritus lapidificus" („Steingestaltergeist") und einem „succus lapidescens" („Versteinerungssaft"), sie phantasierten von „gebärenden Felsen" oder von „Scherzen" der Natur. Die biblische Überlieferung führte zu der Auffassung, daß die auf den Bergen gefundenen Muscheln von den Wassern der Sintflut dorthin gebracht worden seien; denn der Gedanke, daß irgendeine Form von Leben, eine Schöpfung Gottes, erloschen sein könnte, wurde für frevlerisch gehal-







Oben: Bereits in der Antike erregten die Fossilien das Interesse und die Neugier der Menschen. Dieser fossile Seeigel, der aus dem Eozän stammt, wurde im Grab eines ägyptischen Priesters gefunden. Auf einer Seite ist in Hieroglyphen der Name der Örtlichkeit eingegraben, in der er gefunden wurde: die Höhle von Sopdw (wahrscheinlich auf der Halbinsel Sinai).

Rechte Seite: Geologische Schichtungen in der Provence (Frankreich). Die Aufeinanderfolge der Schichten liefert uns die „relative Altersbestimmung", d. h., sie informiert uns über die Aufeinanderfolge der Ereignisse, durch die die Erdkruste verändert wurde.

ten. So entstand die Vorstellung von einer Welt, in der sich seit dem Augenblick der Schöpfung nichts verändert hat: Also mußten auch die Fossilien, so wie wir sie heute sehen, vom Anfang der Welt an existiert haben.

Das ist ungefähr so, als ob man in eine Wohnung käme und beim Anblick von vollen Aschenbechern, zerdrückten Sofakissen und fleckigen Wänden nicht zu der Schlußfolgerung käme, daß die Wohnung bewohnt sein muß, sondern sich lieber einen extravaganten Architekten vorstellt, der kunstvoll Spuren geheimnisvoller Bewohner vortäuscht.

Vom 16. Jahrhundert bis zum Ende des 18. Jahrhunderts war die wissenschaftliche Welt in zwei Lager gespalten: in das der willkürlichen Phantasien und in das der allmählichen Entwicklung eines wissenschaftlichen Denkens. Zu den Begründern des wissenschaftlichen Denkens mit einer klaren Vorstellung von den Fossilien als Spuren vergangenen Lebens gehörten im 16. Jahrhundert Leonardo da Vinci und der italienische Arzt Girolamo Fracastoro.

Aber erst im 18. Jahrhundert entstand die *Geologie* oder „Erdwissenschaft". Diese neue Wissenschaft erhielt in Frankreich großen Aufschwung durch den Naturforscher G. L. Leclerc, Graf von *Buffon* (1707–1788), und in Italien durch den Geologen G. Arduino (1714–1795), der von der Republik Venedig den Auftrag erhielt, die Bergwerke der Voralpen zu studieren. Er vertrat als erster die Überzeugung, daß die Gesteinsschichten an der Erdoberfläche jünger sind als die darunterliegenden, eine Behauptung, die uns heute völlig selbstverständlich zu sein scheint. Die Stratigraphie (Schichtenkunde) bildet heute ein wichtiges Teilgebiet der Geologie.

1739 wurde Buffon in Paris zum Direktor des königlichen Pflanzengartens ernannt (heute: „Jardin des Plantes"). Außerdem erhielt er den Auftrag, die reichhaltige Sammlung des „Cabinet du Roy" (heute: Museum für Naturgeschichte) zu beschreiben und zu katalogisieren. Das stellte eine Lebensaufgabe dar. Als Buffon 1788 im Alter von 81 Jahren starb, hatte er 36 Bände veröffentlicht, und weitere acht waren fertiggestellt und wurden in den folgenden Jahren publiziert.

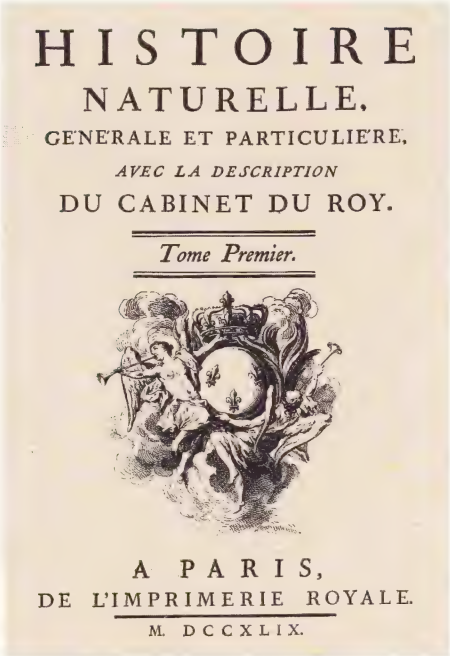
Diese Veröffentlichungen, die unter dem Titel „Histoire naturelle générale et particulière" („Allgemeine und besondere Naturgeschichte") erschienen, lösten aus mehreren Gründen einen Skandal aus, zunächst, weil Buffon in allgemeinverständlicher Form auch für jene, die kein Latein konnten, das Sexualverhalten der Tiere beschrieb. Ein solches Thema wurde zu der damaligen Zeit als absolut unschicklich angesehen. Noch größere Entrüstung rief jedoch Buffons Behauptung hervor, die Welt sei nicht im Oktober des Jahres 4004 vor Christus erschaffen worden, wie es der Überzeugung all derer entsprach, die sich wörtlich an die Bibel hielten, sondern die Geschichte unseres Planeten sei wesentlich älter und habe bereits komplizierte Entwicklungsstadien hinter sich gebracht, bevor überhaupt Leben darauf entstanden sei. Buffon vertrat die Ansicht, die Erde sei ursprünglich ein glühender Ball gewesen, der sich später abgekühlt und mit Wasser bedeckt habe, aus dem schließlich die Inseln und Kontinente aufgetaucht seien. Seinen Berechnungen nach mußte die Erde mindestens 100 000 Jahre alt sein, ein Alter, das damals unglaublich erschien, das jedoch, verglichen mit den heutigen Berechnungen, sehr gering ist.

Die theologische Fakultät der Sorbonne griff Buffon wegen seiner Thesen an, die im Gegensatz zur Heiligen Schrift stünden, und Buffon

schrieb daraufhin einen Widerruf. Aus seinen Schriften geht hervor, daß er von der Evolution der Lebewesen überzeugt war, doch er wagte es nicht, seine Studien auf diesem Gebiet systematisch weiterzuführen.

Die Beuteltiere von Paris und andere seltsame Wesen

1795, wenige Jahre nach Buffons Tod, kam der französische Naturforscher Georges Baron de *Cuvier* (1769–1832) als Professor für Tieranatomie an das Museum für Naturgeschichte. Ihn beeindruckte die Entdekkung, daß sich die im Museum aufbewahrten fossilen Elefantenknochen stark von den Knochen der noch lebenden Elefanten unterschieden. Da

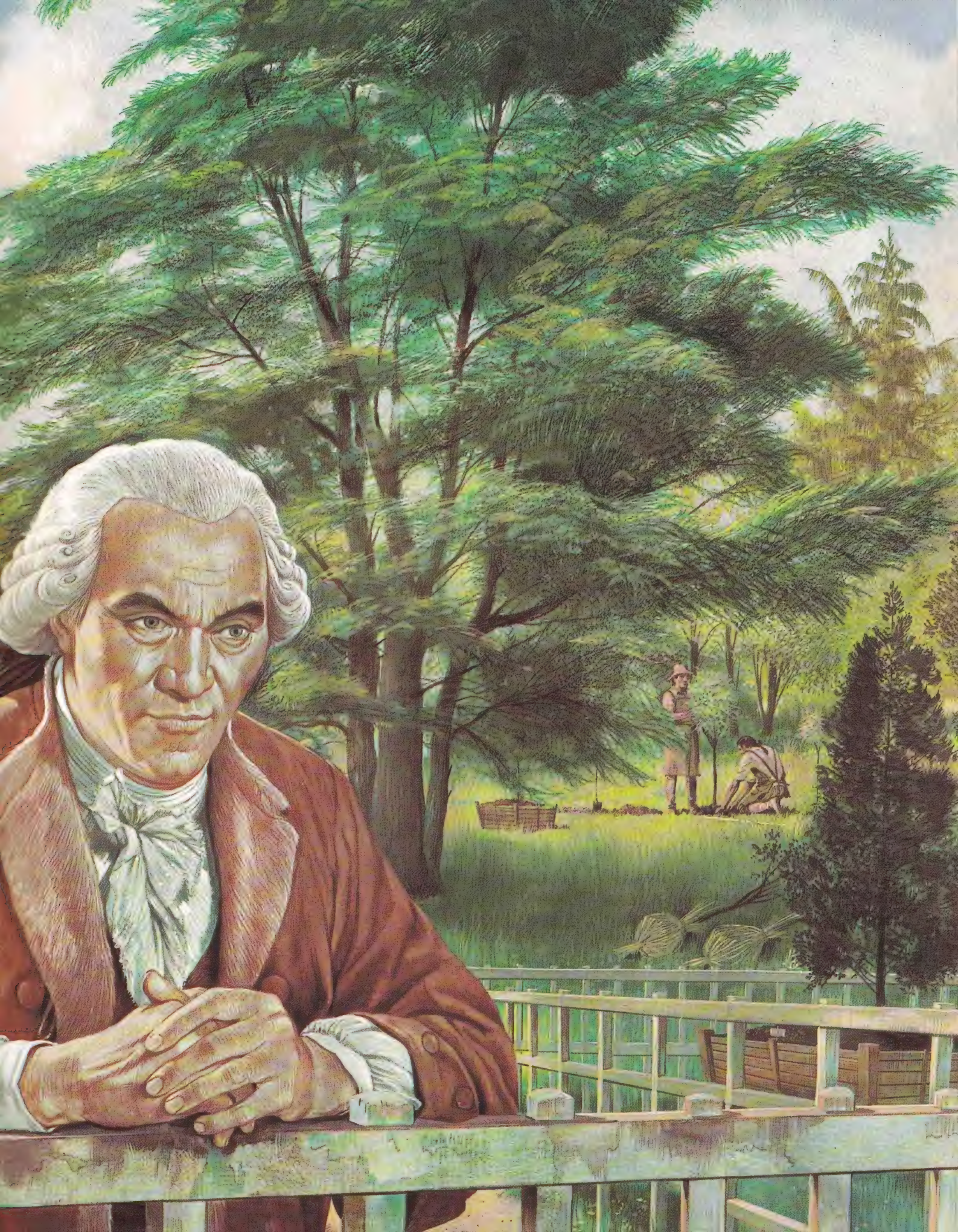


HISTOIRE
NATURELLE,
GENERALE ET PARTICULIERE,
AVEC LA DESCRIPTION
DU CABINET DU ROY.

Tome Premier.

A PARIS,
DE L'IMPRIMERIE ROYALE.
M. DCCXLIX.

Der französische Naturforscher Georges Louis Leclerc, Graf von Buffon (1707–1788), verfaßte auf seinem Schloß Montbard in Burgund die berühmte „Histoire naturelle...", ein Werk, das aus vielen Gründen revolutionierend war. Wir reproduzieren hier das Titelblatt des ersten Bandes und eine Zeichnung daraus.



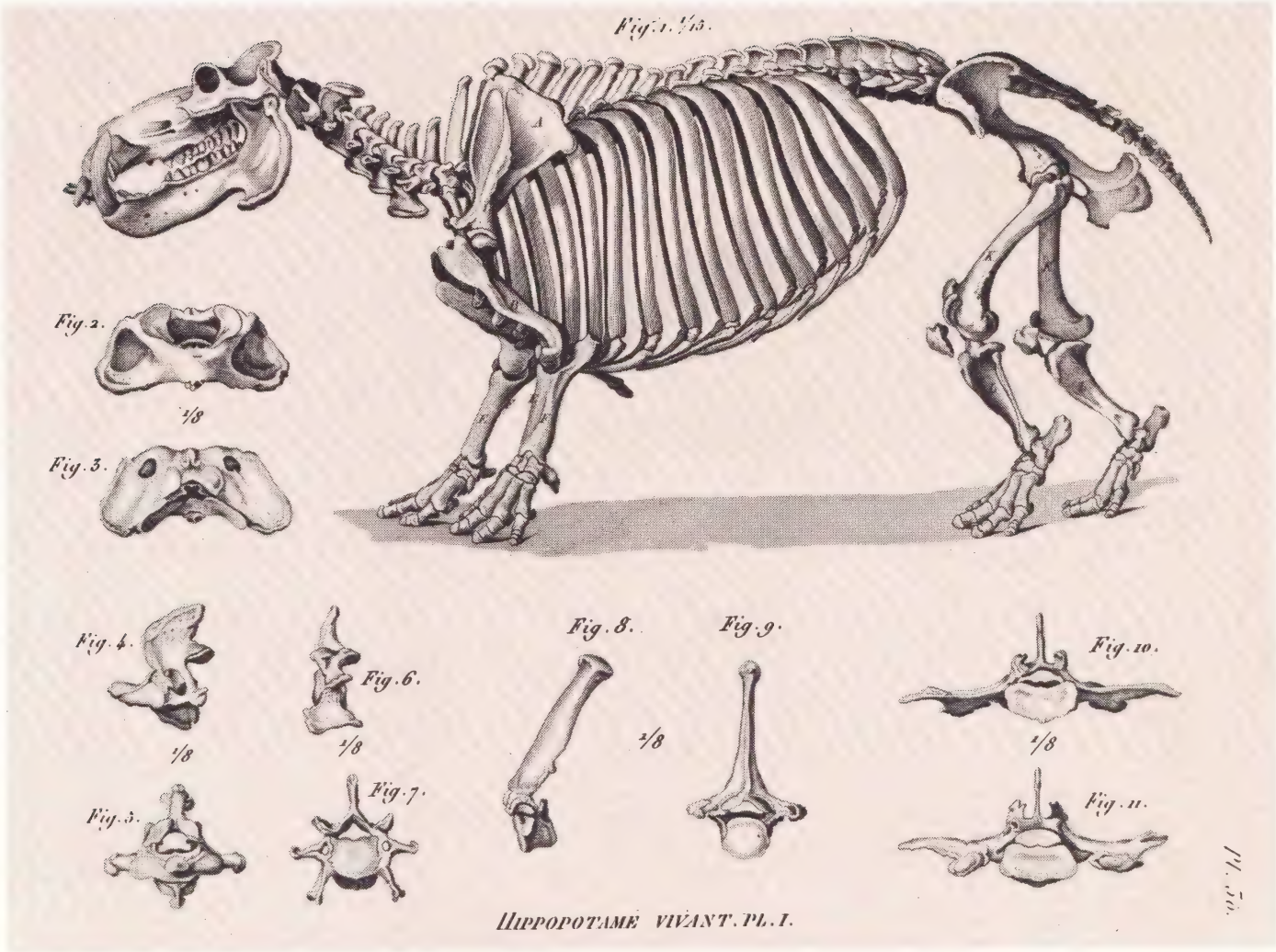
Oben: Dieser zeitgenössische Druck zeigt Cuvier, wie er seine eigenen fossilen Funde vorführt.

er sich diesen Unterschied nicht erklären konnte, begann er systematisch nach fossilen Knochen zu forschen. Der Zufall wollte es, daß er in den Gipssteinbrüchen des Montmartrehügels reiche Fossilienfunde entdeckte.

Cuviers große Kenntnisse in der Tieranatomie ließen ihn die Gesetze der „Wechselbeziehungen zwischen den Organen" erkennen, d. h., er konnte anhand von Merkmalen eines anatomischen Teilbereichs auf die Merkmale eines anderen Teilbereichs schließen. Seine Fähigkeiten auf diesem Gebiet waren enorm und sind bis heute praktisch unübertroffen.

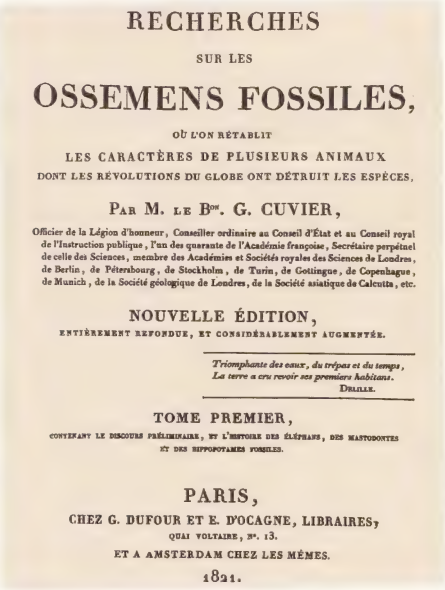
Eines Tages erkannte er anhand eines Gebisses, daß bestimmte Säugetierknochen, die in einer Kalkgesteinsplatte aus Paris gefunden worden waren, von einem Beuteltier stammen mußten. Seine Kollegen lachten ihn aus; denn noch nie hatte man gehört, daß Beuteltiere außerhalb Südamerikas, der Molukken, Australiens und der Inseln Ozeaniens vorgekommen wären. Aber Cuvier ließ sich nicht beirren und grub weiter, bis er, nur unweit von der Fundstelle der fossilen Zähne, einige der dünnen Knöchelchen fand, die bei den Beuteltieren den Brutbeutel als Beutelknochen stützen. Damit hatte er auch den skep-

Rechte Seite: Titelblatt eines grundlegenden Werkes des französischen Naturforschers Georges Baron de Cuvier (1769–1832) und eine von Cuvier selbst verfertigte Illustration daraus.



tischsten seiner Kollegen bewiesen, daß zwischen den Wesensmerkmalen der Zähne und dem Vorhandensein eines Brutbeutels ein Zusammenhang bestand.

Der gelehrte Cuvier rekonstruierte äußerst merkwürdige Tiere, wie z. B. das *Megatherium* und den *Pterodactylus,* aber er fand keine befriedigende Erklärung dafür, warum und auf welche Weise diese Tiere von der Erde verschwunden und durch andere Tiere abgelöst worden waren. Ebenso wie Carl von Linné und alle übrigen Biologen der damaligen Zeit glaubte Cuvier an die Unveränderlichkeit der Geschöpfe, der zufolge es heute genauso viele Arten geben müsse wie im Augenblick der Entstehung des Lebens. Nach dieser Auffassung konnte eine Aufeinanderfolge von verschiedenen Arten nur eine Aufeinanderfolge von verschiedenen Erschaffungen bedeuten. Aber warum sollte es immer wieder neue Schöpfungsakte gegeben haben? Die einzige Erklärung, die Cuvier dafür fand, war die Annahme, daß durch eine Folge großer Naturkatastrophen immer wieder sämtliche Formen von Leben ausgelöscht worden seien und das Leben danach immer wieder von vorn zu existieren begonnen habe.



RECHERCHES

SUR LES

OSSEMENS FOSSILES,

OÙ L'ON RÉTABLIT

LES CARACTÈRES DE PLUSIEURS ANIMAUX

DONT LES RÉVOLUTIONS DU GLOBE ONT DÉTRUIT LES ESPÈCES,

PAR M. LE B^on. G. CUVIER,

Officier de la Légion d'honneur, Conseiller ordinaire au Conseil d'État et au Conseil royal de l'instruction publique, l'un des quarante de l'Académie françoise, Secrétaire perpétuel de celle des Sciences, membre des Académies et Sociétés royales des Sciences de Londres, de Berlin, de Pétersbourg, de Stockholm, de Turin, de Gottingue, de Copenhague, de Munich, de la Société géologique de Londres, de la Société asiatique de Calcutta, etc.

NOUVELLE ÉDITION,

ENTIÈREMENT REFONDUE, ET CONSIDÉRABLEMENT AUGMENTÉE.

Triomphante des eaux, du trépas et du temps,
La terre a cru revoir ses premiers habitans.
DELILLE.

TOME PREMIER,

CONTENANT LE DISCOURS PRÉLIMINAIRE, ET L'HISTOIRE DES ÉLÉPHANS, DES MASTODONTES ET DES HIPPOPOTAMES FOSSILES.

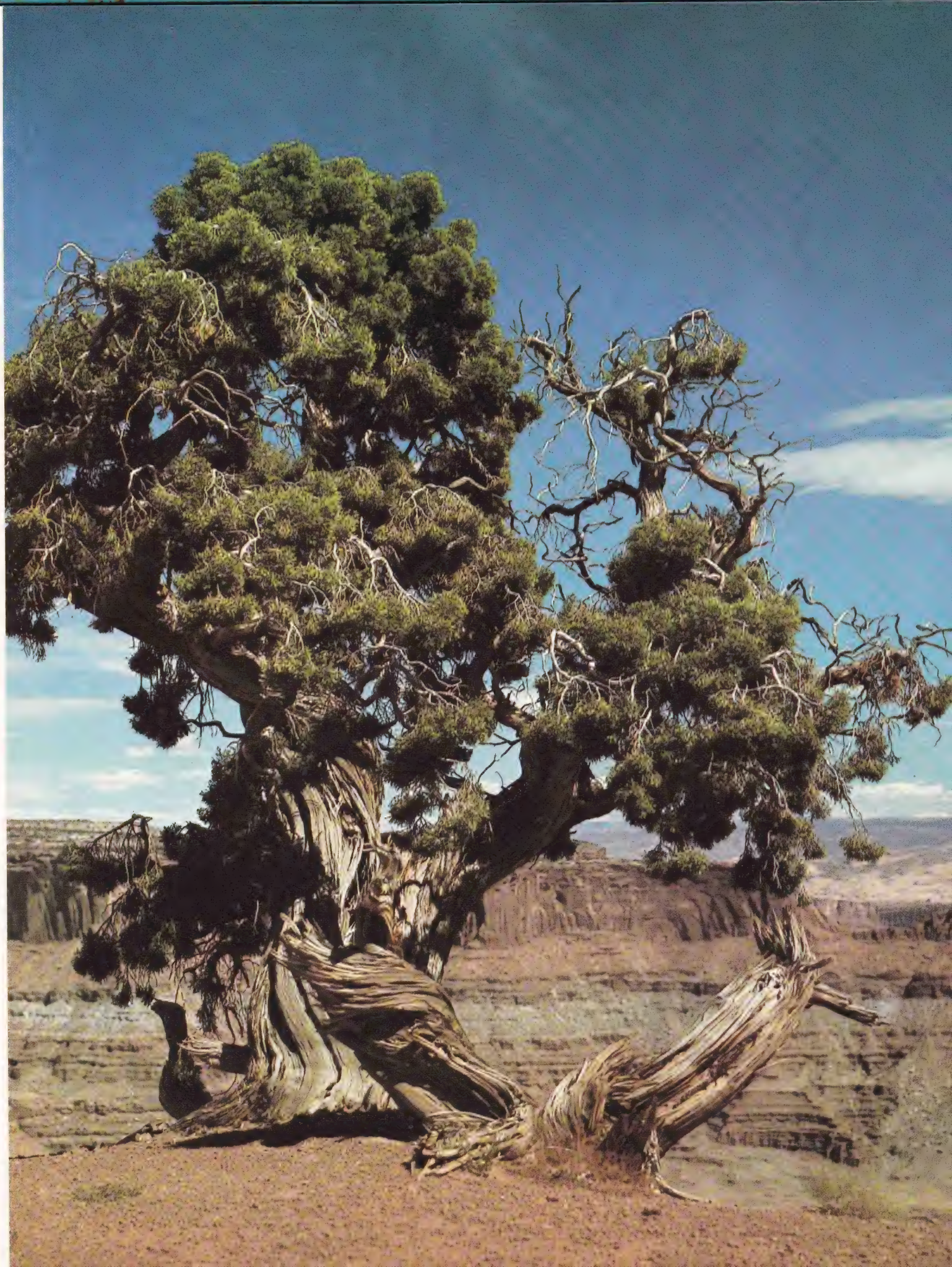
PARIS,

CHEZ G. DUFOUR ET E. D'OCAGNE, LIBRAIRES,

QUAI VOLTAIRE, N°. 13.

ET A AMSTERDAM CHEZ LES MÊMES.

1821.



In einer Auseinandersetzung mit Cuvier wurde der von Buffon nur angedeutete Evolutionsgedanke von einem seiner Schüler, Jean-Baptiste de *Lamarck* (1744–1829), neu aufgegriffen. Nach ihm „sieht" der Mensch die Evolution nur deshalb nicht, weil sie sehr langsam vor sich geht und ihre Resultate erst nach langen Zeiträumen in Erscheinung treten. Sie werden jedoch sichtbar, ganz gleich wie lange der Prozeß, der sie hervorbrachte, gedauert hat.

Lamarck fand die Bestätigung seiner Behauptung beim Vergleich zwischen wilden und gezähmten Tieren: „Ein seit langem gezähmtes Tier unterscheidet sich von der wilden Art, von der es abstammt, und bei der gezähmten Art findet man einen großen Unterschied im Körperbau zwischen Individuen, die einer bestimmten Gewohnheit unterworfen wurden, und solchen, die man zur Annahme anderer Gewohnheiten gezwungen hat." Diese Beobachtung führte die Erfahrungen der Hirten und Viehzüchter in die naturwissenschaftliche Forschung ein und machte die Theorie von der *Evolution der Lebewesen* zum ersten Mal annehmbar.

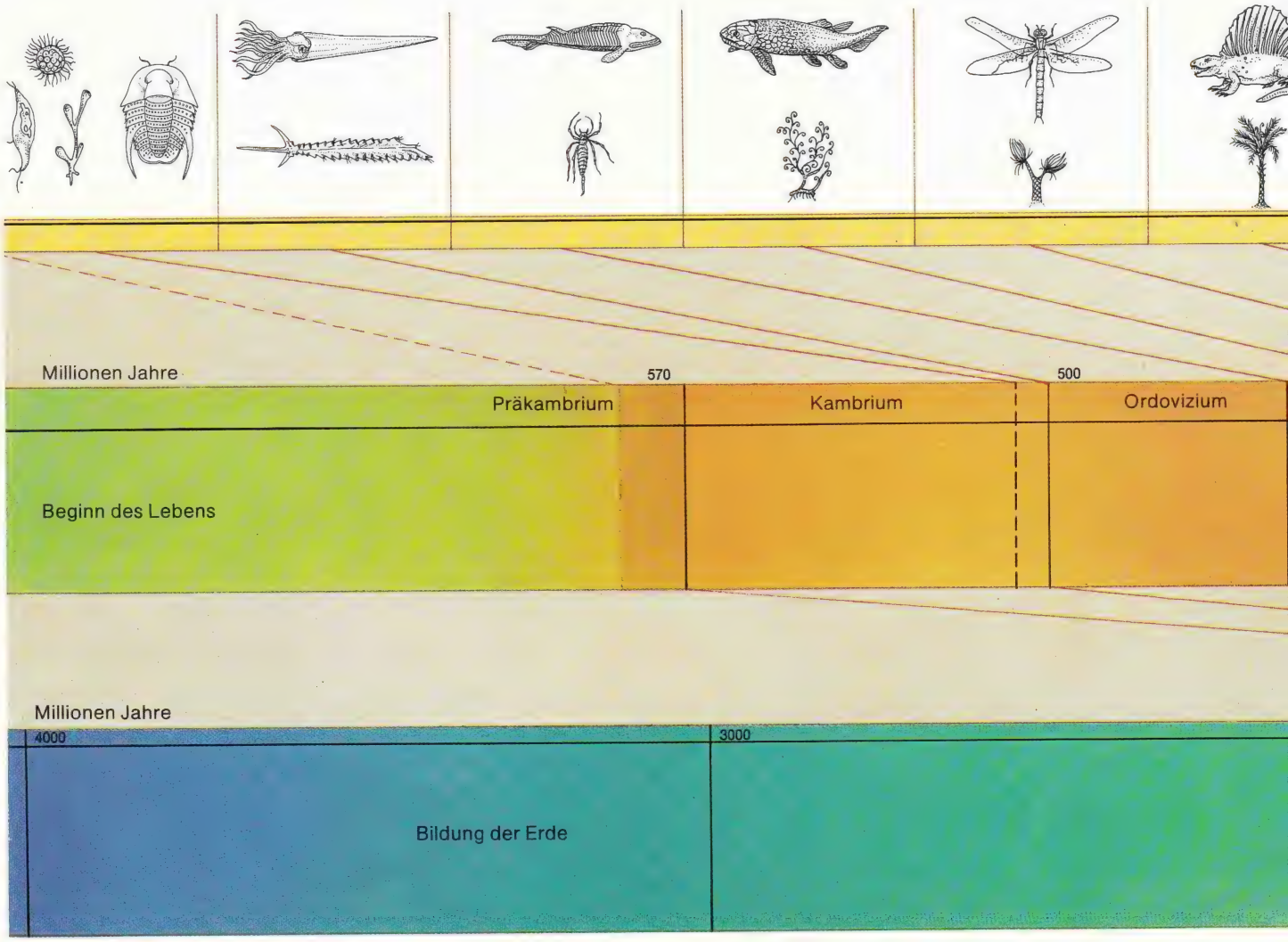
Oben: Für viele Tiere, die in schneebedeckter Umgebung leben, besteht die Anpassung an die Umwelt darin, daß sie sich im Winter ein weißes Fell oder Federkleid zulegen. Auf dem Foto weiße Rebhühner im Winterkleid.

Linke Seite: Dieser Wachholderbaum aus der Wüste von Utah bezeugt die Fähigkeit dieser Spezies (die auch in gemäßigten und tropischen Zonen wächst), sich den Umweltbedingungen anzupassen.

Der Vergleich zwischen dem Werk von Cuvier und dem von Lamarck zeigt, daß manchmal eine einzige gut interpretierte Beobachtung die Entwicklung der Wissenschaft besser fördert als eine Menge genauester Beschreibungen. Später fand die Evolutionstheorie weitere, immer überzeugendere Beweise, zunächst durch Charles Darwin und schließlich durch die gesamte moderne Biologie.

Heute wissen wir, daß sowohl die belebte als auch die unbelebte Natur im Laufe von viereinhalb Milliarden Jahren grundlegende Veränderungen erfahren haben. Diese Erkenntnis basiert auf der Interpretation der (lebenden und nicht lebenden) Objekte, die wir um uns herum sehen, und bietet uns gleichzeitig die Erklärung der Objekte und Tatsachen, die wir uns vornehmen nach und nach zu analysieren. „Eine Hand wäscht die andere"; mit anderen Worten: Die Tatsachen führen zu einer Theorie, und die Theorie hilft, die Tatsachen zu verstehen. Das ist ein Gebot, das auf allen Gebieten der Naturwissenschaft Gültigkeit hat. In dem speziellen Bereich, mit dem wir uns befassen, gilt das Prinzip „Eine Hand wäscht die andere" aber auch noch in einem weiteren Sinn: Die Paläontologie dient der Geologie, und die Geologie dient der

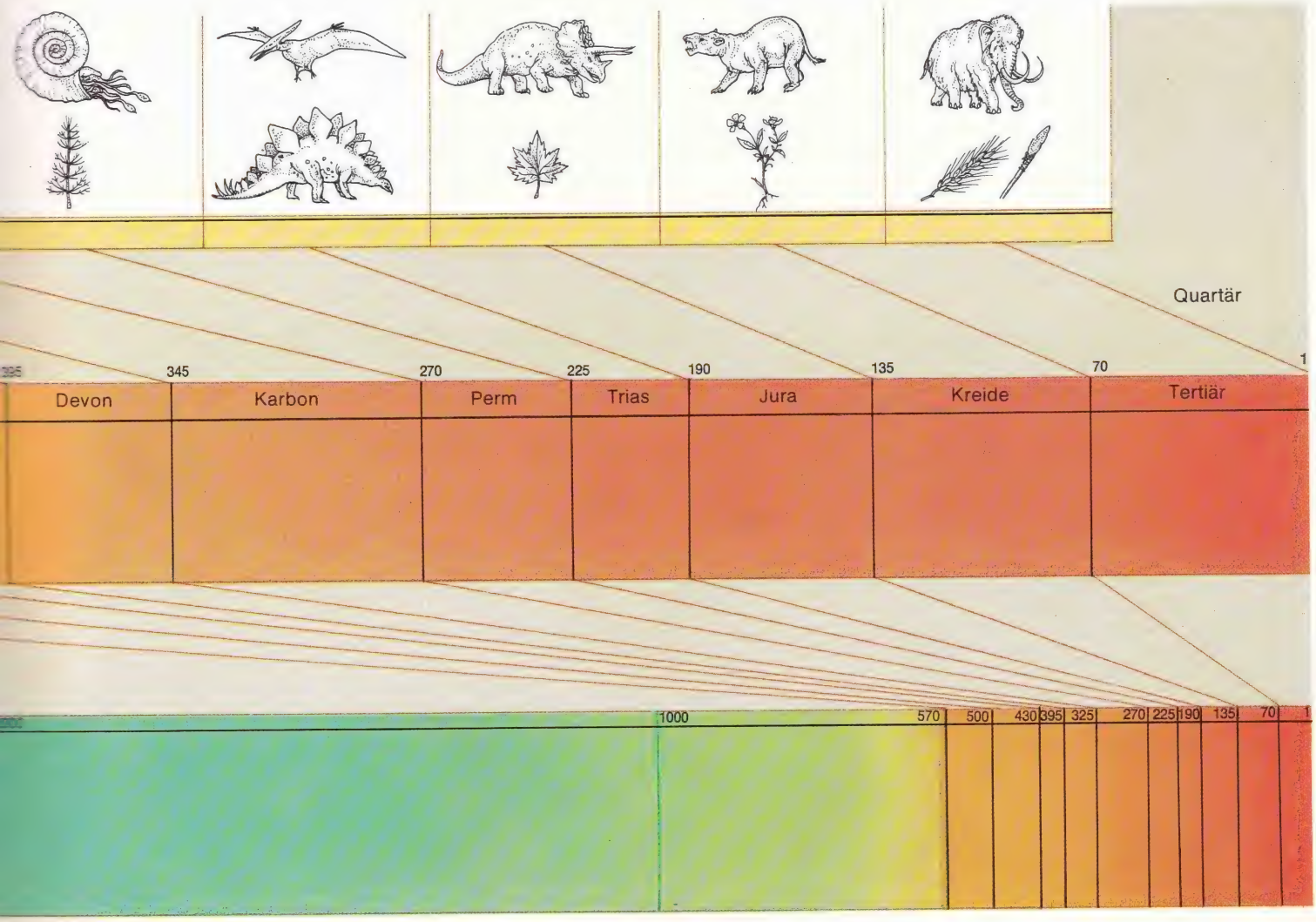
Die geologischen Zeitalter seit der Entstehung des Lebens auf unserem Planeten. In der untersten Reihe ihr Verhältnis zum Gesamtalter der Erde.



Paläontologie, d. h., das Studium der Fossilien hilft uns zu verstehen, was sich auf der Erdoberfläche zugetragen hat, und das Studium der Erde hilft uns zu verstehen, was mit den Lebewesen geschehen ist.

Verborgene Uhren im Innern der Erde

Wir erwähnten weiter vorn die *Stratigraphie,* also die Kunde von den Erdschichten. Sie hilft uns, die Reihenfolge geologischer Ereignisse zu erforschen; denn die oberste Schicht trägt die Spuren der jüngsten Ereignisse. Man nennt dieses Vorgehen „relative Altersbestimmung". Der Kriminalist, der von einem Telefonhörer Fingerabdrücke abnimmt, verschafft sich damit einen Anhaltspunkt für eine relative Zeitbestimmung; denn selbst der flüchtigste Fingerabdruck sagt ihm noch, wer den Hörer zuletzt in der Hand gehabt hat. Damit hat er jedoch noch keine „absolute Zeitbestimmung"; denn er erfährt nicht, an welchem Tag und zu welcher Stunde der Telefonhörer berührt wurde. Dagegen kann der Gerichtsmediziner, der die Obduktion einer Leiche vornimmt, eine absolute Zeit festsetzen, weil der Zustand des Mageninhalts ihm sagt, zu welchem Zeitpunkt der Tote seine letzte Mahlzeit eingenommen hat.



In Kriminalromanen kombinieren die Detektive ihre Suche nach absoluter und relativer Zeitbestimmung. Kennt man das absolute Datum eines Vorgangs, dann hilft die relative Zeitbestimmung dazu, die absolute Zeit aller verwandter Vorgänge zu bestimmen. In der gleichen Weise gehen auch der Paläontologe und der Geologe vor: Im allgemeinen bemühen sie sich zunächst, die relativen Alterswerte zu bestimmen, um dadurch die schwierigere Aufgabe der absoluten Altersbestimmung zu lösen.

In den vergangenen Jahrzehnten wurden neue Verfahren entwickelt, um das absolute Alter der Gesteinsschichten zu erforschen. Die Kenntnisse der innersten Struktur der Materie hat gezeigt, daß in den Mineralien „verborgene Uhren" vorhanden sind. Die in einer bestimmten Epoche in einem bestimmten Mineral vorhandenen *radioaktiven Elemente* haben sich in nichtradioaktive bzw. stabile Elemente umgewandelt, und zwar mit einer Geschwindigkeit, die für jedes chemische Element anders ist. Kennt man nun die Menge des radioaktiven Elements und die seines Zerfallsprodukts in einem bestimmten Mineral, so läßt sich auf Grund der Zerfallsgeschwindigkeit bestimmen, in welcher Epoche das Mineral entstanden ist. Das ist ungefähr so, als ob wir in ein Zimmer kämen, in dem Sand durch eine Sanduhr rieselt. Kennen wir die Durchlaufgeschwindigkeit des Sandes und messen wir dann die Sandmenge im oberen und im unteren Teil der Sanduhr, so können wir genau bestimmen, zu welchem Zeitpunkt die Sanduhr umgedreht wurde.

Je weiter wir in der Erdgeschichte zurückgehen, desto weniger gegliedert erscheint sie uns; denn um so weniger Details wurden überliefert. Die noch unterscheidbaren Epochen sind daher besonders lang. Die Vergangenheit breitet sich wie ein Ozean vor uns aus, den wir von den Ufern der Gegenwart aus betrachten: Uns am nächsten sind die Wellen, die unsere Füße umspielen, am entferntesten dagegen die

Kräfte, die das Gesicht unseres Planeten verändern: In Kalifornien, auf den Hügeln östlich von San Diego, zeigt ein Riß in der Erde (die sog. San-Andreas-Störung), der sich nach dem Erdbeben von 1906 gebildet hat, daß bestimmte geologische Prozesse im Gange sind, die unsere Umwelt grundlegend verändern.

Entlang der San-Andreas-Störung bilden sich Senkungen, die sich mit Wasser füllen und so eine Reihe von Seen entstehen lassen wie den auf dem Foto aus der Nähe von San Francisco. Die Wissenschaftler schätzen, daß innerhalb von 50 Millionen Jahren dieser Prozeß Kalifornien vom amerikanischen Kontinent abtrennen und in eine Insel verwandeln wird.

Wogen, die sich am Horizont verlieren. Die Wellen in unserer Nähe können wir genau in ihrem Abstand voneinander unterscheiden, während die Wogen in der Ferne nicht mehr einzeln zu erkennen sind und eine undeutliche Masse bilden.

Aus diesem Grund umfaßt die *Erdurzeit (Archaikum)* einen Zeitraum von ungefähr zwei Milliarden Jahren, während die jüngste Epoche, das *Quartär* (in dem wir noch leben) erst vor etwa 1,5 Millionen Jahren begann. Diese Unterteilungen sind jedoch ziemlich willkürlich und beschreiben mehr den Stand der Forschungen als die Tatsachen. Bis vor noch gar nicht langer Zeit wurde die Erdurzeit *Azoikum* genannt, was soviel heißt wie „ohne Leben". Doch von einer Zeit, in der die Erde völlig ohne Leben war, können wir keine Spuren entdecken. Soweit wir unsere Forschungen auch zurücktreiben, Hinweise auf Leben finden wir in allen Erdepochen. Mag sein, daß es tatsächlich ein „Azoikum" gegeben hat, aber wir haben dafür keine Beweise.

Im vorhergehenden Band, der vom Ursprung des Lebens handelt, haben wir uns rein theoretisch mit einer Erde ohne Leben befaßt, doch in diesem der Beschreibung gewidmeten Band sollen die tatsächlichen Objekte der geologischen Forschung dargestellt werden. Und bis jetzt ist, wie schon gesagt, noch kein Zeitalter der Erde entdeckt worden, das völlig unbelebt gewesen wäre, mit Ausnahme der Zeit vor der Erdkrustenbildung. Es gibt andererseits auch nichts auf der Oberfläche

Der Ätna in Tätigkeit bei seinem letzten Ausbruch (1971). Vulkanausbrüche waren häufige Erscheinungen in den frühen Erdzeitaltern und haben der Erdkruste ihr ursprüngliches Aussehen verliehen.

unseres Planeten, das auf die Zeit seiner ersten Entstehung zurückginge.

Im ersten Band dieser Serie haben wir gesehen, wie man versucht hat, die Ursprünge der Erde zu rekonstruieren, und wie man dazu gekommen ist, der Erde ein Alter von rund 4500 Millionen Jahren zuzuschreiben. Die ersten geologischen Formationen, die auf die Verhärtung der Erdkruste folgten, wurden jedoch entweder durch Vulkantätigkeit oder durch Verwitterung und Abtragung zerstört.

Die ältesten bekannten Gesteine gehen nach der radioaktiven Datierung auf über 3,3 Milliarden Jahre zurück. Sie bildeten die sog. *Kontinentalschilde.* Die heute sehr weit voneinander entfernt liegenden Schilde gingen von einem einheitlichen Urkontinent aus, einer einzigen, von einem Urozean umgebenen Festlandmasse. Durch Faltungen entstanden große Gebirgsketten, von denen einige noch bestehen, vor

allem in Kanada. Die Kontinente erhoben sich nicht steil über dem Meer, sondern gingen langsam in die sog. „Kontinentalplattform" über. Auch diese Plattformen oder *Schelfe* falteten sich, und die aufsteigenden Gebirge schlossen in Küstennähe den durch Auswaschung und Abtragung frei gewordenen Gesteinsschutt mit ein. Durch diesen Vorgang schob sich das Land allmählich immer weiter in die Ozeane vor.

Feuer und Leben schufen die Felsen

Die ältesten Felsen der Kontinentalschilde bestehen aus *Basalt,* einem dunkelgrauen, sehr schweren Gestein, das durch rasches Abkühlen der Lavaströme bei Vulkanausbrüchen (Eruptionen) entsteht. Basalt ist also ein *Vulkangestein* (Vulkanit). Zur Gruppe der Eruptivgesteine gehört auch der *Granit,* der sich jedoch im Gegensatz zum Basalt bereits im Innern der Erdkruste verfestigt (Plutonit oder *Tiefengestein*). Bei den im

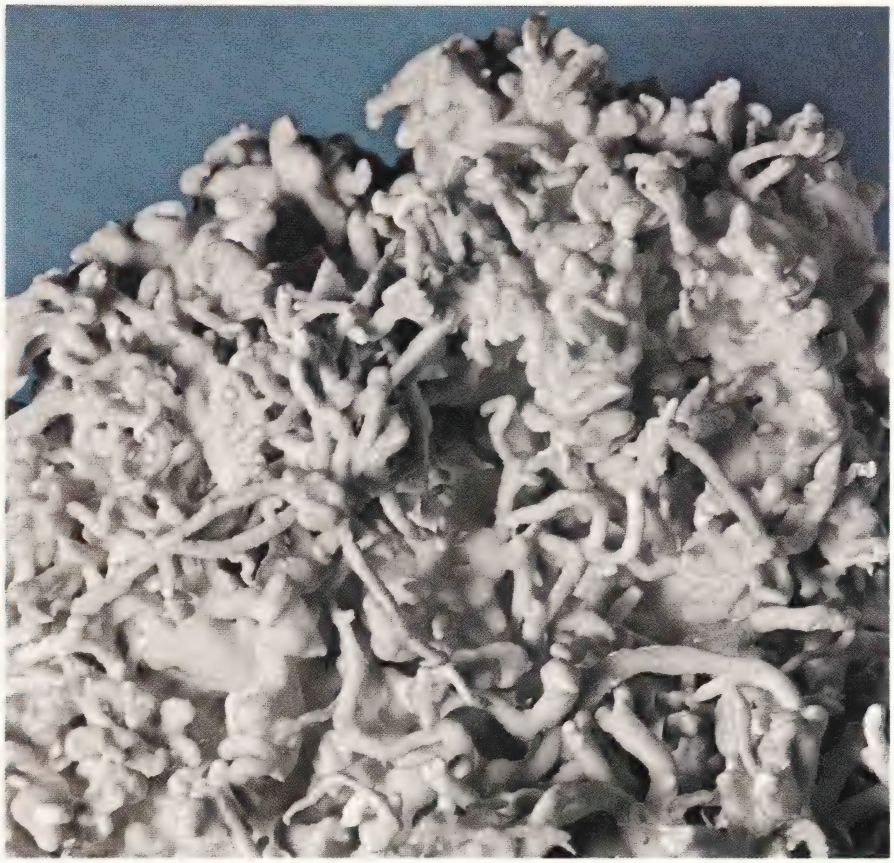
Oben: Stromatolithische Struktur aus dem Ordovizium, entdeckt in der geologischen Formation von Beekmantown (Maryland, USA): eine Art ausgewalzter Fladen, der den fossilen Rest einer Anhäufung von Blaualgen darstellt. Der älteste dieser Algenklumpen wird auf 2 700 Millionen Jahre zurückdatiert.

Rechts: So ähnlich kann der mit Stromatolithen bedeckte Meeresboden ausgesehen haben, als Blaualgen und Bakterien noch die einzigen lebenden Organismen auf unserem Planeten waren.

Archaikum entstandenen Felsen, wie sie z.B. noch in Kanada und Finnland vorhanden sind, findet man Granit innerhalb von Basalt; denn er hat sich erst bei späteren Vulkanausbrüchen einen Weg durch den Basaltmantel gebahnt. Durch Druck- und Temperatureinflüsse wandeln sich Basalte und Granite langsam um in „metamorphe" Gesteine oder *Metamorphite* wie Gneis und Glimmerschiefer. Wind, Regen und die Gewässer zerkleinern die Metamorphite in Geröll und Sand, die sich dann als Sedimente absetzen und sich auf Grund von hohen Temperaturen und starkem Druck ihrerseits zu *Sedimentgestein* verfestigen können. Eine Auffaltung zu einem neuen Gebirge kann den Kreislauf der Gesteine schließen.

Die auf solche Weise entstandene Erdkruste und das, was wir heute als „Mineralien" bezeichnen, erfuhren eine tiefgreifende Veränderung durch das Auftreten organischen Lebens. So ist z.B. ein großer Teil des Kalkgesteins biologischen, d. h. „lebendigen" Ursprungs. Die Wassermassen lösten die auf den Meeresgründen vorhandenen anorganischen Kalksalze und Organismen, vor allem Mikroorganismen bildeten Kalkhüllen aus, die sich später wieder ablagerten. Diese Organismen waren jedoch unterschiedlich in den Meeren verteilt. Daher entstanden in den verschiedenen Gebieten unterschiedlich dicke *Kalkschichten,* je nach Art und Anzahl der vorhandenen Organismen und der chemischen Reaktionen, denen sie nach ihrem Absterben unterlagen. Urlebewesen, die nicht die Fähigkeit besaßen, Kalk abzuscheiden, müssen uns weitgehend unbekannt bleiben, weil sie kaum fossile Reste hinterließen.

Rechte Seite: Stalaktiten und Stalagmiten einer Tropfsteinhöhle. Diese großartigen Gebilde entstehen durch die langsame Ablagerung von Kalksalzen aus dem Grundwasser.



Der Aragonit ist eine Modifikation des Calciumcarbonats. Links einige Kristalle aus Aragonien, der spanischen Landschaft, nach der das Mineral benannt ist. Viele Tiere besitzen ein aragonithaltiges Außenskelett. Rechts Aragonitaggregate aus der Steiermark, sog. „Eisenblumen".

Kalkgestein entsteht jedoch nicht nur in den Meeren, sondern auch auf den Kontinenten, da es auch in Süßwasser kalkbildende Organismen gibt. So sind einige der schönsten Gebirge der Welt kontinental aus organischem Kalk entstanden, z. B. die Dolomiten. Wenn sich dann durch orogenetische Faltungen (Gebirgsbildung in der Erdkruste) die Kalkschichten gehoben haben, so erfahren die von biologischen Vorgängen zeugenden Ablagerungen neue, nichtbiologische Verwandlungen: Wasser sickert durch das Gestein, löst dabei Salze und lagert sie in größeren Tiefen erneut ab. Auf diese Weise entstehen in einem äußerst langsamen Prozeß die *Stalaktiten* und die *Stalagmiten* der Tropfsteinhöhlen.

Die aus archaischem Kalk geformten *Stromatolithen* in Rhodesien lassen sich auf 2,7 Milliarden Jahre zurückführen. Sie weisen Spuren von primitiven Algen und Blaualgen auf, den gleichen, die es auch heute noch gibt. Anhäufungen fossiler Kalkalgen finden wir auch in der Sahara. Von einem finnischen Felsen kennen wir aus der Zeit vor 1,15 Milliarden Jahren (diese Zahl wurde mit Hilfe der radioaktiven Methode ermittelt) ein höchstwahrscheinlich pflanzliches Lebewesen mit dünnem, etwa 10 cm langem Körper. Von ihm ist uns ein klarer und deutlicher Abdruck erhalten geblieben. Doch außer seiner Form und Größe wissen wir nichts weiter von diesem Organismus. Die Wissenschaft gab ihm den Namen „Corycium enigmaticum".

Dieser Abdruck, der vor 1 150 Millionen Jahren entstanden ist, wurde auf einem finnischen Felsen gefunden. Von dem Organismus, der sich hier verewigt hat, wissen wir sonst nichts.

Eine Fülle von Kalkalgen aus dem Archaikum wurde in Form von Stromatolithen in Nordamerika, vor allem in Kanada, gefunden. Ähnliche Algen leben heute noch in den Seen von Michigan und in den Thermalwässern des Yellowstone-Nationalparks. Kalksteinformen, die das Vorkommen von Algen in der Erdurzeit bezeugen, wurden auch in Colorado gefunden. Felsformationen, die ausschließlich aus archaischen Algen bestehen, gibt es in China, Sibirien, im Kongo, in Tanganjika und in Grönland; sie zeugen von der Tatsache, daß diese Gebiete einstmals unter Wasser gestanden haben.

Unaufhörliche Regengüsse höhlten die Vulkanite der Kontinentalsockel aus und führten dem Meer mineralischen Staub zu, der sich wie ein langsamer, stetiger Schneefall am Boden absetzte. Doch in den

Eine Dolomitenlandschaft: Dieser Kalkfelsen organischen Ursprungs wurde vom Wasser und vom Wind geformt und durch Faltungen der Erdkruste in die Höhe gedrückt.

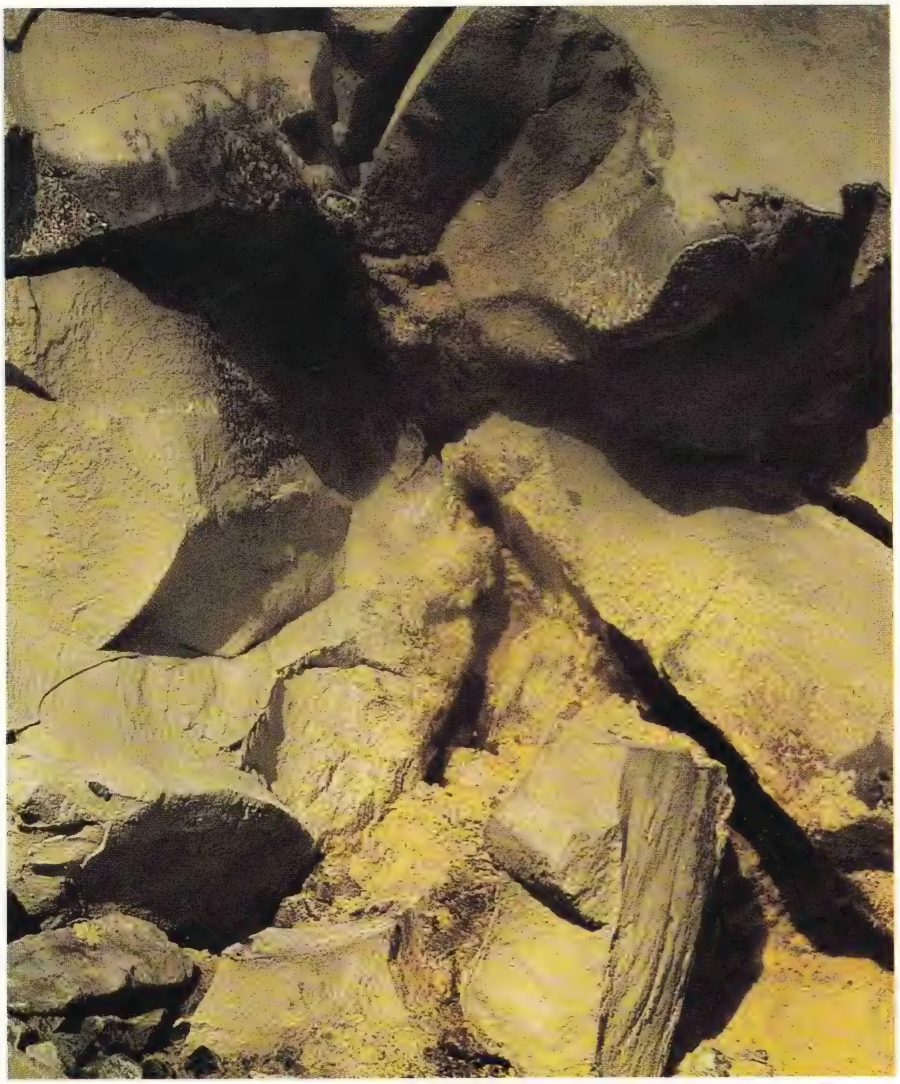
Ozeanen bemächtigte sich eine unendliche Fülle von Algen und Bakterien dieser Mineralien, transportierte sie weiter und häufte sie an einzelnen Plätzen an. Mit anderen Worten: Die ersten Organismen bauten über Stoffwechselprozesse nicht nur Kalksalze auf, sondern auch andere Mineralien und sammelten sie in Lagerstätten und Flözen an. Die Tatsache, daß die chemischen Elemente und ihre Verbindungen nicht gleichförmig auf der Erdoberfläche verteilt sind, ist zum großen Teil der Tätigkeit lebender Organismen, in erster Linie der Mikroorganismen, zuzuschreiben.

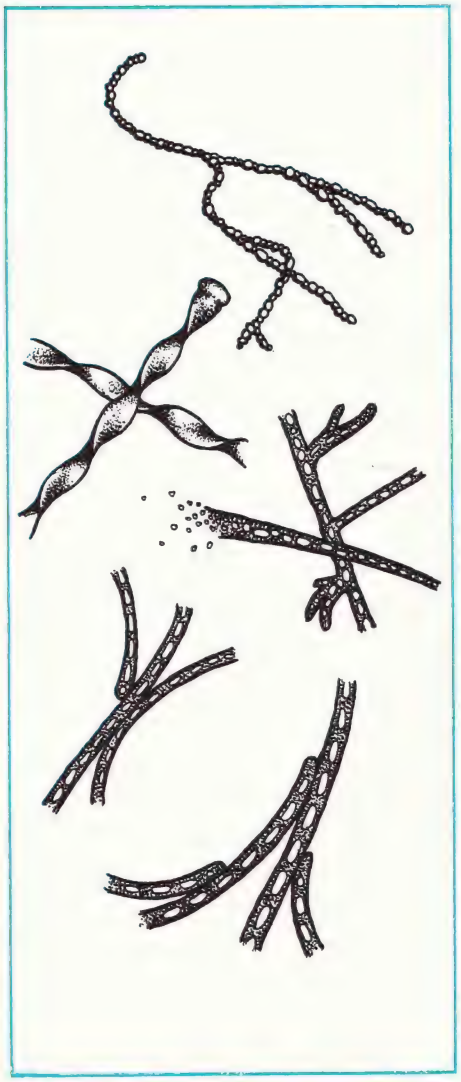
Dieses Phänomen hängt mit den Energieproblemen zusammen, die wir im vorhergehenden Band untersucht haben. Heute kennen wir die *Schwefelpurpurbakterien* oder *Thiorhodazeen,* die Lichtenergie zu einer Photosynthese verwenden, die sich von der Chlorophyllphotosynthese unterscheidet. Sie bilden Zucker mit Hilfe von Kohlendioxid und Schwefelwasserstoff und setzen anstelle von Sauerstoff Schwefel frei. In Gewässern, die reich an Salzen und Schwefelwasserstoff sind, wimmelt

Schwefelvorkommen auf den griechischen Inseln Santorin (links) und Nisiros (rechts). Schwefelbakterien sind für die Geologie von größter Bedeutung, da sie zur Ausbildung wichtiger Mineraliengruppen führen, der Sulfide und der Sulfate. Durch die Bildung von Schwefelsäure bewirken sie außerdem Erosion und Korrosion im Gestein.

es von Schwefelpurpurbakterien. – Andere Bakterien verbinden Schwefel mit Sauerstoff; wieder andere führen diesen Vorgang umgekehrt durch, d. h., sie trennen den Schwefel vom Sauerstoff und verbinden ihn mit dem Wasserstoff. Die große Vielfalt organisch-chemischer Reaktionen, in denen Schwefel eine Rolle spielt, hat, je nach der Vermehrungsrate der einzelnen Bakterientypen, zu Vorkommen von reinem Schwefel oder von *Schwefelsalzen* geführt (Sulfate, wenn Schwefel mit Sauerstoff verbunden wird; Sulfide, wenn kein Sauerstoff vorhanden ist).

Andere Mikroorganismen, Bakterien und Algen, wirken oxydierend auf Eisen und fällen das Hydroxid aus. Sie sind verantwortlich für die Bildung von Eisenvorkommen (wie das im Untergrund von New York City). Manchmal hat die Koexistenz von Bakterien unterschiedlichen Typs komplizierte Reaktionen hervorgerufen: In geschlossenen Meeren, in denen sowohl Eisenbakterien als auch solche, die Sauerstoff von Schwefel trennen, vorkamen, haben sich schwarze Schlammgründe und Felsen gebildet (Schwarzes Meer). Auch die Aluminium-, Mangan-, Kupfer- und Vanadiumvorkommen werden der unermüdlichen mineralisierenden Tätigkeit von Bakterien zugeschrieben.





Einige Bakterienformen, die auf Eisen einwirken. Ihnen kommt große Bedeutung bei der Ausbildung von eisenhaltigen Mineralien zu.

Während der sehr langen Periode des Archaikums fand der Übergang von einer wasserstoffreichen und sauerstofflosen Atmosphäre zu einer sauerstoffreichen und wasserstofflosen Atmosphäre statt. Dieser langsame Übergang, der durch die Photosynthese der pflanzlichen Organismen zustande kam, häufte Sauerstoff in der Atmosphäre an (wir können also den Sauerstoff, den wir atmen, als ein „fossiles Produkt" von Generationen pflanzlicher Organismen ansehen) und lagerte Kohlenstoffverbindungen auf der Erde ab. Der größte Teil der Kohlenbestände entstand zwar erst in späteren Erdzeitaltern, dennoch scheinen bereits die ersten lebenden Organismen, die Algen und Bakterien des Archaikums, Kohlenstoff in verschiedenen Formen abgelagert zu haben, hauptsächlich als Calciumcarbonat in Sedimentgestein, aber auch in Form von Graphitvorkommen.

Wir sehen, das Leben in seinen ersten Formen hat uns nur wenig direkte Spuren hinterlassen. Um so reicher sind jedoch die Spuren seiner Tätigkeit, einer langen, intensiven Umwandlung der Stoffe, aus denen der Planet gebildet wurde, einer tiefgreifenden Umweltveränderung, der sich die ersten Organismen allmählich anpaßten.

Das Erbe der archaischen Periode und des Präkambriums

Alte Bekannte: Blaualgen und Bakterien

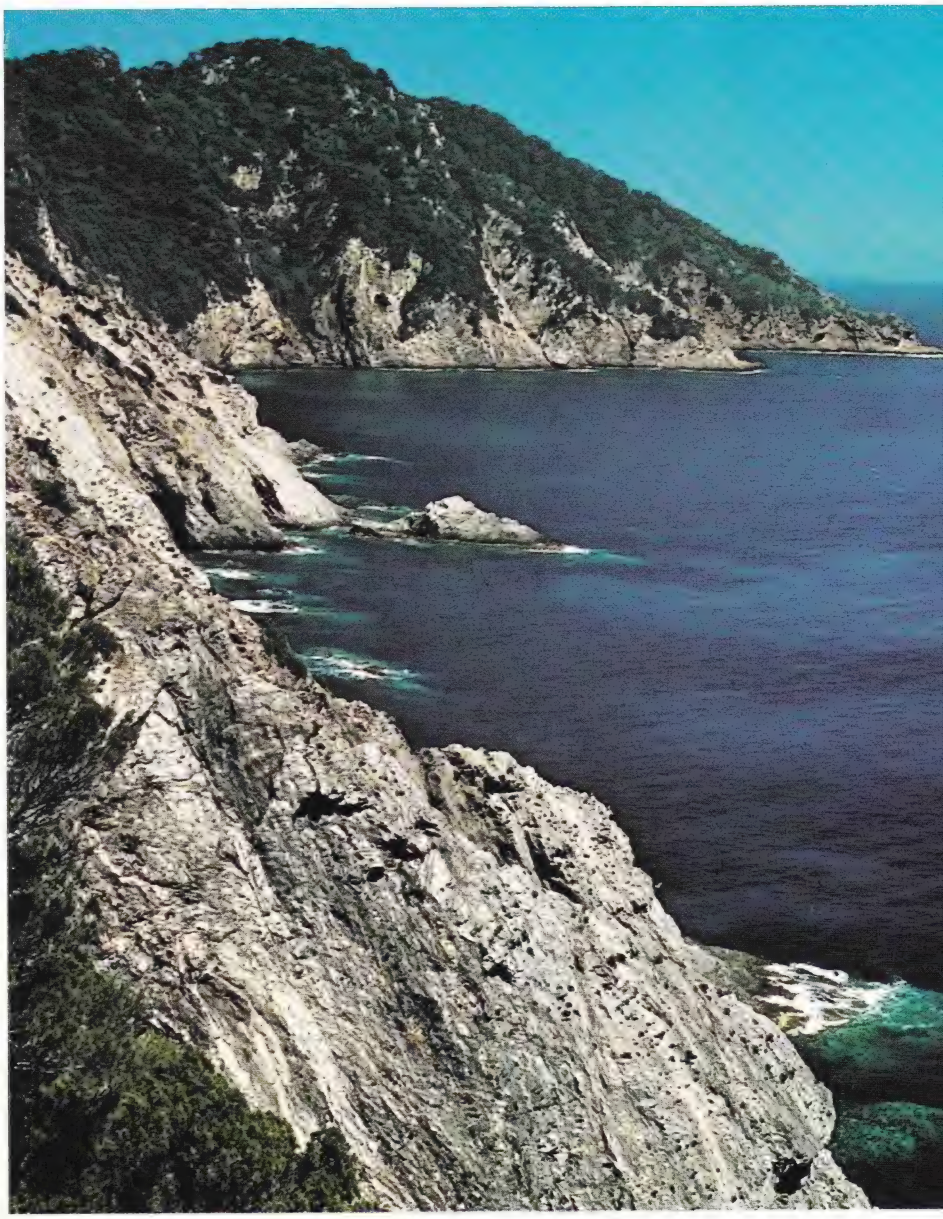
Unsere geologischen Kenntnisse sind immer noch so gering und unfundiert, daß sich die Wissenschaftler bisher nicht über die Unterteilung der einzelnen Erdzeitalter einigen konnten. Manche vertreten die Ansicht, daß auf das *Archaikum* unmittelbar das *Paläozoikum (Erdaltertum)* folge, andere wollen dazwischen noch die Ära des *Eozoikums* (Zeit der „Morgenröte" des Lebens) ansiedeln. Alle aber sind sich darin einig, daß man eine Epoche deutlich erkennen kann, die vor etwa 600 bis 570 Millionen Jahren begann und bis vor 500 Millionen Jahren andauerte: das *Kambrium* (von „Cambria", dem lateinischen Namen für die Halbinsel Wales, die besonders viele Fossilien aus dieser Zeit aufweist). Es scheint also, daß vor ungefähr 600 Millionen Jahren ein wichtiger „Wendepunkt" eintrat, nach dem sich das Leben auf der Erde in großer Mannigfaltigkeit und Komplexität explosionsartig entwickelte.

Zunächst wollen wir jedoch die Formen von Leben betrachten, die vor 600 Millionen Jahren bereits existierten, diejenigen also, die das Kambrium von den vorausgehenden Epochen (den präkambrischen, archaischen oder eozoischen – wie immer wir sie nennen wollen) als Erbe übernommen hat.

Sehr reichhaltig vertreten war die prokaryontische Flora, bestehend aus Bakterien und Blaualgen (Zyanophyzeen). Bis vor wenigen Jahren glaubte man, daß es vor dem Kambrium noch keine geschlechtliche Fortpflanzung gegeben habe; denn man hielt die Vermehrung aller prokaryontischen Organismen für ungeschlechtlich. Doch wie wir im vorigen Band gesehen haben, gibt es auch bei den Bakterien schon eine bestimmte Art von Sexualität, d. h. von Genaustausch. Damit ist zwar nicht bewiesen, daß Sexualität auch bei den Bakterien des Archaikums existierte, aber es schließt die Möglichkeit zumindest nicht aus.

Die Mikroflora der sog. *Onverwacht-Serie,* einer bestimmten Schichtenfolge in Swasiland, Südafrika, läßt sich auf 3,4 Milliarden Jahre zurückführen. Ihre fossilen Reste deuten darauf hin, daß sie aus kugel- und fadenförmigen Gebilden bestand, die Kohlenwasserstoffe enthielten. Ebenfalls in Südafrika wurde in der *Fig-tree-Serie* eine Mikroflora entdeckt und als „jünger" identifiziert (3,1 Milliarden Jahre). Bei diesen

Die Braunalge Zonaria flava. Heute vertreten einige Biologen und Wirtschaftswissenschaftler die Ansicht, daß sich in Zukunft das Ernährungsproblem der ständig zunehmenden Bevölkerung der Erde durch den systematischen Anbau von Algen lösen lasse.

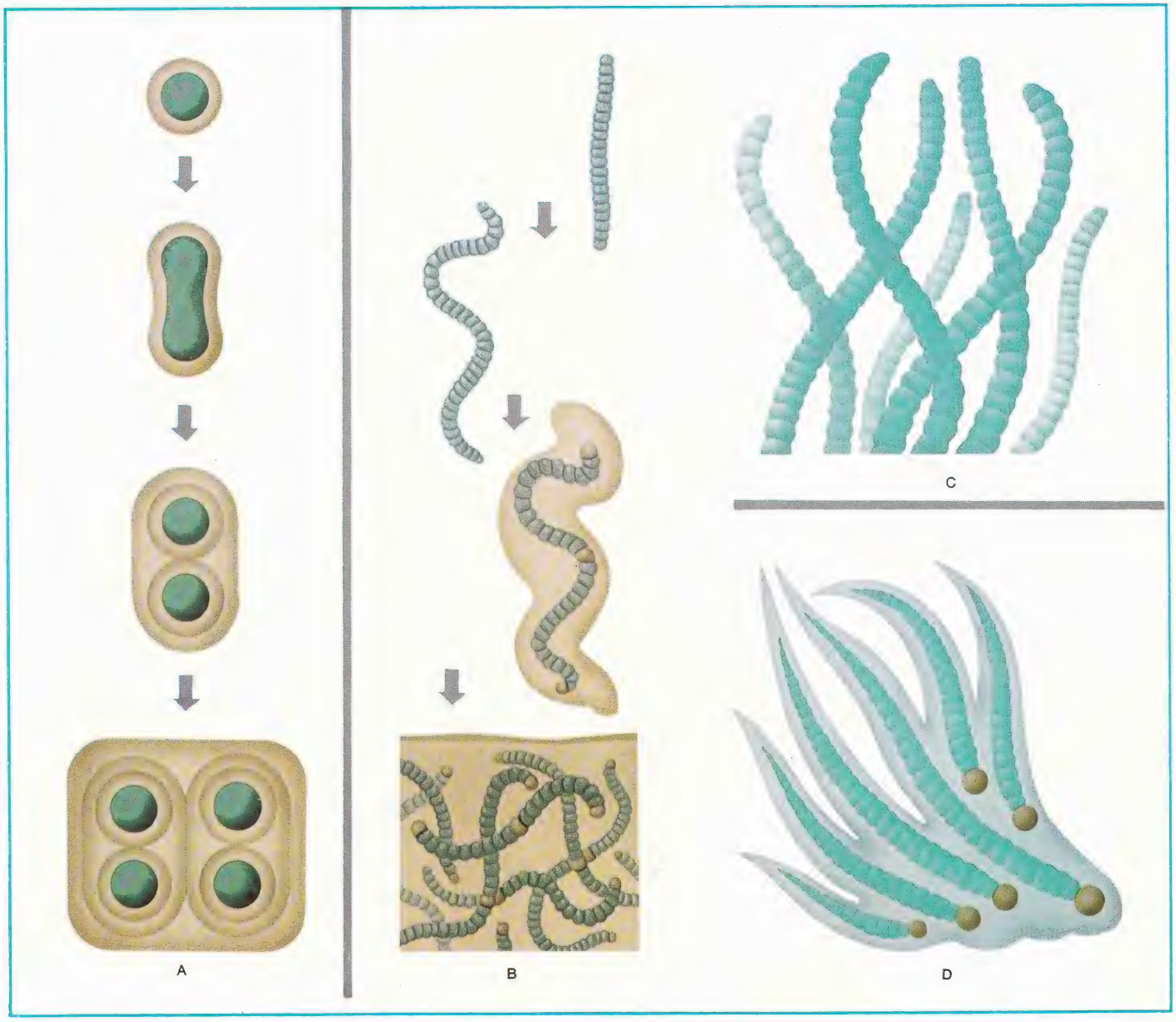


Bei diesen Felsen der Côte d'Azur hat die Erosion allmählich die oberflächlichen Schichten abgetragen und kristallines Schiefergestein aus dem Präkambrium zum Vorschein gebracht.

fossilen Resten in Form von mikroskopisch kleinen Kugeln, die in Kieselgestein gefunden wurden, das durch Eisenverbindungen dunkel geädert ist, soll es sich um Blaualgen und Bakterien handeln.

Der Tätigkeit von Blaualgen und Bakterien schreibt man auch die kalkigen Konkretionen der Stromatolithen in Rhodesien aus der Zeit vor 2,65 Milliarden Jahren zu. Ungefähr aus der gleichen Zeit stammen die Quarzite aus dem Gebiet von Southern Cross in Westaustralien: grüne, von Eisenadern durchzogene Felsen, die vielfältige Fossilien von zwei oder drei Tausendstel Millimeter enthalten: kleine Kugeln und an den Enden verdickte Stäbchen.

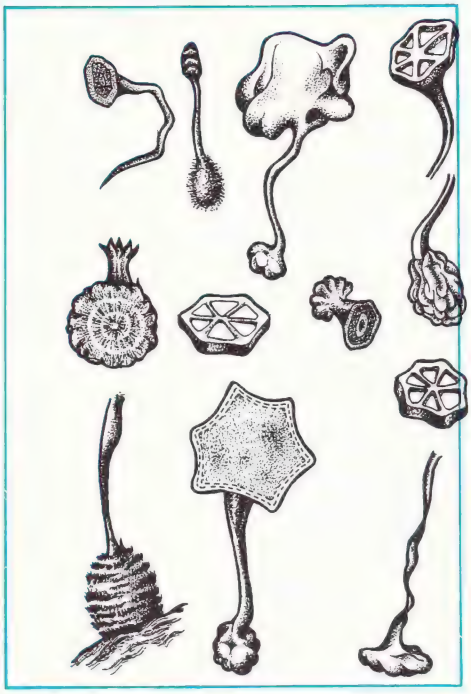
Vor zwei Milliarden Jahren muß sich in dem Gebiet, das wir heute als Elfenbeinküste bezeichnen, etwas Merkwürdiges ereignet haben. Einige Wissenschaftler glauben, die *Kieselschalen,* die sich in den dort



Entwicklung einiger Blaualgenkolonien: Bei Gloeocapsa (A) vereinigen sich die Zellen innerhalb von gallertartigen Blöcken; bei Nostoc (B), Oscillatoria (C) und Rivularia (D) sind sie fadenförmig aufgereiht.

vorhandenen Ablagerungen befinden, seien das Ergebnis einer komplizierten Bakterientätigkeit, andere dagegen wollen darin die ersten Spuren von Foraminiferen erkennen, winzigen Lebewesen, die aus einer einzigen, sehr komplexen eukaryontischen Zelle bestehen. Tatsächlich läßt das Aussehen dieser Mikrofossilien an Foraminiferen denken; denn man kann kleine Hohlräume erkennen, die den charakteristischen „Kammern" dieser Protozoen sehr ähnlich sind.

Die Eisenformation von Gunflint (Kanada) enthält sehr große Stromatolithen (bis zu sechs auf drei Meter) sowie Spuren von Bakterien und anderen Einzellern, von denen manche eine gewisse Ähnlichkeit mit den noch heute existierenden Gattungen Nostoc (Gallertalge), Oscillatoria (Schwingalge) und Rivularia (Spitzhaaralge) zeigen. Es handelt sich bei diesen also wiederum um Blaualgen, um prokaryontische Zellen, die



jedoch eine gewisse fädige Organisation aufweisen. Tatsächlich findet man bei Nostoc und Rivularia bereits zweierlei Zelltypen vor. Wenn also die Rivularien, die in Gunflint ihre Spuren hinterließen, ihren heutigen Nachkommen nicht nur in der äußeren Form, sondern auch in ihrem Aufbau ähnlich waren, so läßt sich daraus schließen, daß es bereits vor 1,9 Milliarden Jahren (dem Alter des Gunflint-Plateaus) Zellen gegeben hat, die zwar noch prokaryontisch waren, jedoch bereits eine grundlegende Aufgabenteilung vorgenommen hatten.

Von den Gunflint-Bakterien haben einige keine Entsprechung unter den heute existierenden Arten, andere dagegen sind unseren Kokken und Bazillen ähnlich. Man findet in Gunflint Spuren von Bakterien, die am Schwefelzyklus beteiligt sind, sowie von solchen, die Ähnlichkeit mit den in Karelien gefundenen Bakterien haben und Eisen und Mangan oxydieren. Ebenfalls in Kanada, und zwar in Ontario, in der Nähe der Kakabeka-Wasserfälle beim Oberen See, hat man Spuren eines Mikroorganismus gefunden, der die Form einer länglichen Zwiebel aufweist und mit einem schirmartig sich verbreiternden Zellfaden von wenig mehr als einem Zehntel Millimeter Breite versehen ist. Dieses Mikrofossil hat große Ähnlichkeit mit einem heute noch existierenden Kleinstlebewesen, das in Wales im Bereich einer alten, seit Jahrhunderten bewohnten Burg entdeckt wurde. Durch die ständig anfallenden organischen Abfälle ist dort ein sauerstoffarmer und ammoniak- und methanreicher Lebensraum entstanden, der große Ähnlichkeit mit der urzeitlichen Atmosphäre der Erde hat. – Fossilien, die etwa das gleiche Alter haben wie die aus der Gunflint-Formation, finden sich außerdem in den Kohleschieferplatten von Michigan.

Vereinigung macht stark

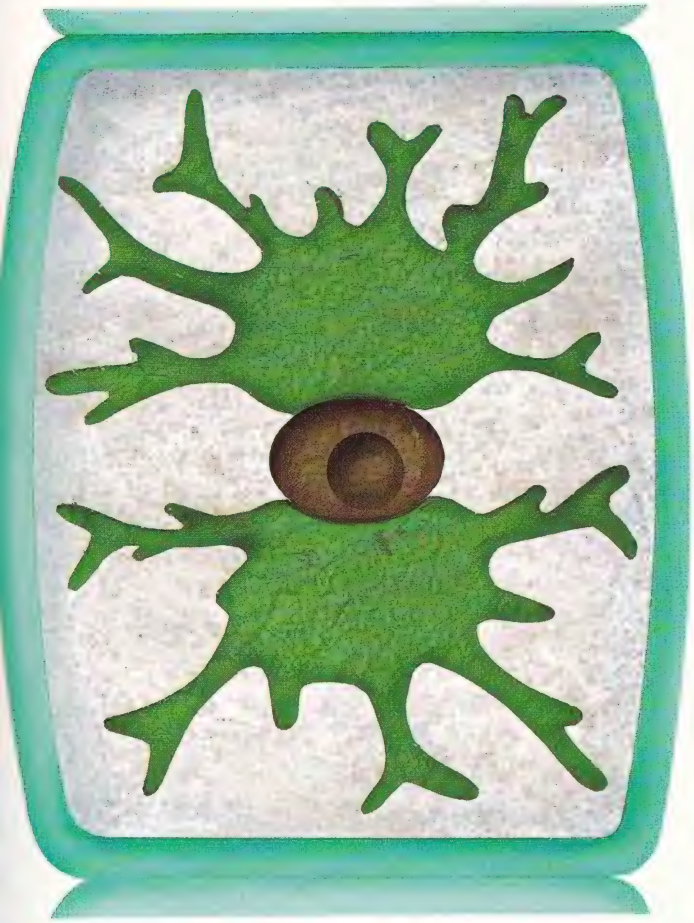
Vor etwa 1,9 bis 1,3 Milliarden Jahren erwuchsen der prokaryontischen Zelle, die bis dahin unumschränkt geherrscht hatte, allmählich Rivalen in Form von eukaryontischen Zellen. Wenn allerdings die Interpretation vom Ursprung der eukaryontischen Zelle, wie wir sie im vorhergehenden Band angedeutet haben, der Wirklichkeit entspricht, wäre es richtiger zu sagen, daß sich die gesamte Masse der prokaryontischen Zellen in einem bestimmten Zeitabschnitt in Schwierigkeiten befand und diese Schwierigkeiten dank einer „Erfindung" meisterte, die nicht weniger grundlegend war als die ihr vorausgegangene „Erfindung" der Photosynthese. Die Photosynthese könnte man mit dem Motto „Selbst ist der Mann!" umschreiben: Als die Nährstoffe, die aus dem Meer eine nahrhafte Suppe gebildet hatten, anfingen knapp zu werden, paßten sich die Zellen der neuen Lage an und begannen mit Hilfe von Lichtenergie und Chlorophyll sich ihre Nahrung selbst herzustellen. So waren sie aus heterotrophen Organismen (die ihre Nahrung bereits vorhandenen organischen Stoffen entnahmen) zu autotrophen Organismen (die imstande waren, ihre Nahrung durch Umwandlung anorganischer Stoffe zu gewinnen) geworden.

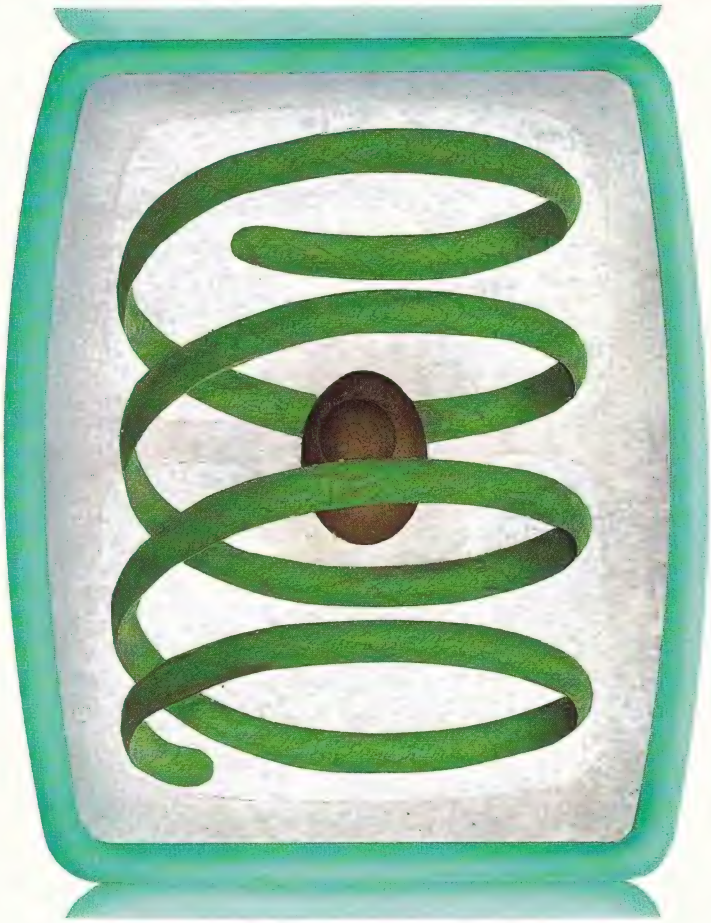
Dann kam eine Epoche, in der diese Selbständigkeit der Einzelzelle nicht mehr genügte. Ein neuer Entwicklungsprozeß setzte ein, der unter dem Motto „Vereinigung macht stark" zusammengefaßt werden könnte. Tatsächlich läßt sich die eukaryontische Zelle als eine Art „genossenschaftlicher Vereinigung" von prokaryontischen Zellen, d. h. als Form einer Symbiose, ansehen.

Diese „Genossenschaft" versah sich zunächst mit einem Schutz gegen die Außenwelt in Form einer mehrschichtigen Zellwand. Doch

Oben: Seltsame Formen von Mikroben, die unter abnormen Umweltbedingungen leben, z. B. in heißen Quellen oder ammoniakdurchtränktem Erdreich.

Rechte Seite: Das Chlorophyll ist im Zellkörper nicht wahllos verteilt, sondern zu wohlgeordneten Gebilden zusammengefaßt, den Chloroplasten. Auf der Abbildung sehen wir Algenzellen, die verschiedene Formen von Chloroplasten beherbergen (stern-, spiral-, scheiben- und gitterförmige).



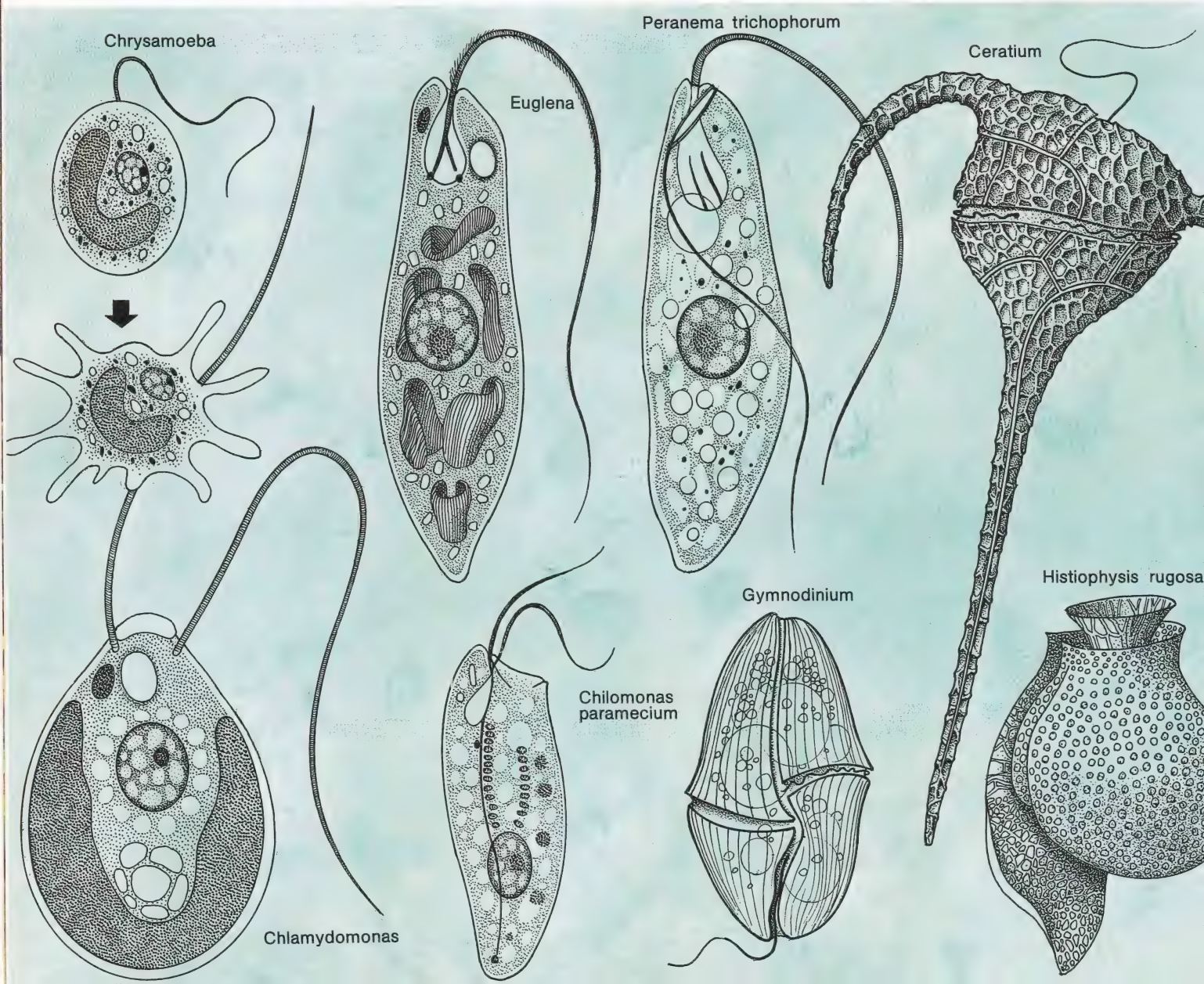


Rechte Seite, oben: Struktur einer Flagellatengeißel. Man erkennt die beiden zentralen und die neun peripheren Fibrillen.

wurde diese äußere Wand freigestellt von den beiden Aufgaben, die ihr noch bei den Blaualgen und den Bakterien zukamen, nämlich der Photosynthese und der Atmung. Die Photosynthese wurde jetzt zur Spezialaufgabe von Blaualgen im Innern eines anderen Zellkörpers. Bei diesen Blaualgen war das Chlorophyll in der Zellmembran regelmäßig angeordnet. Sie bildeten in der neuen Umgebung die sog. Chloroplasten (die Organellen der Photosynthese). Die Atmung, also den Gasaustausch mit der Außenwelt, übernahmen ebenfalls im Innern eingeschlossene aerobe Bakterien, die zu den Mitochondrien (Träger der Atmungsfermente) wurden.

Wohlgemerkt, dieser „genossenschaftliche" Ursprung der eukaryontischen Zelle ist nur eine Vermutung. Im Moment gibt es jedoch nichts, was dieser Annahme grundsätzlich widersprechen würde. Außerdem entspricht sie genau dem, was wir über den Gang der Evolution wissen, die immer vom Einfachen zum Komplizierten verläuft. Es handelt sich also um eine Vermutung, die als wissenschaftlich haltbar angesehen werden kann.

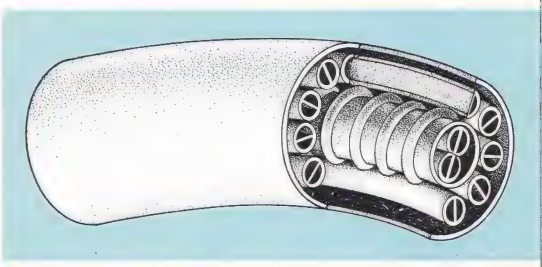
Unten: Die vielfältigen und phantastischen Formen der Flagellaten, wie sie unter dem Mikroskop erkennbar sind. Obwohl die Flagellaten nur aus einer einzigen Zelle bestehen, sind sie doch so komplex, daß sie als komplette Organismen angesehen werden können.

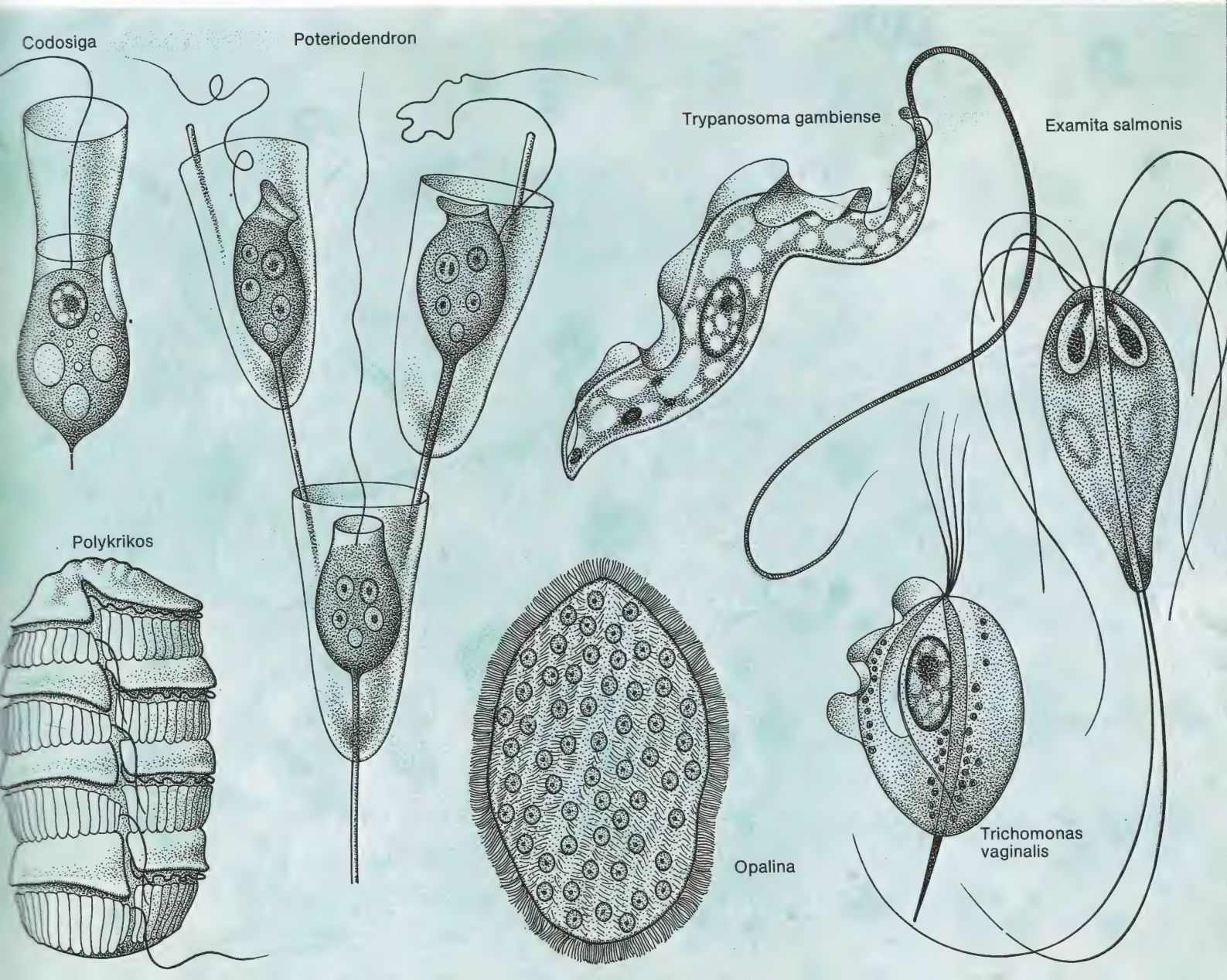


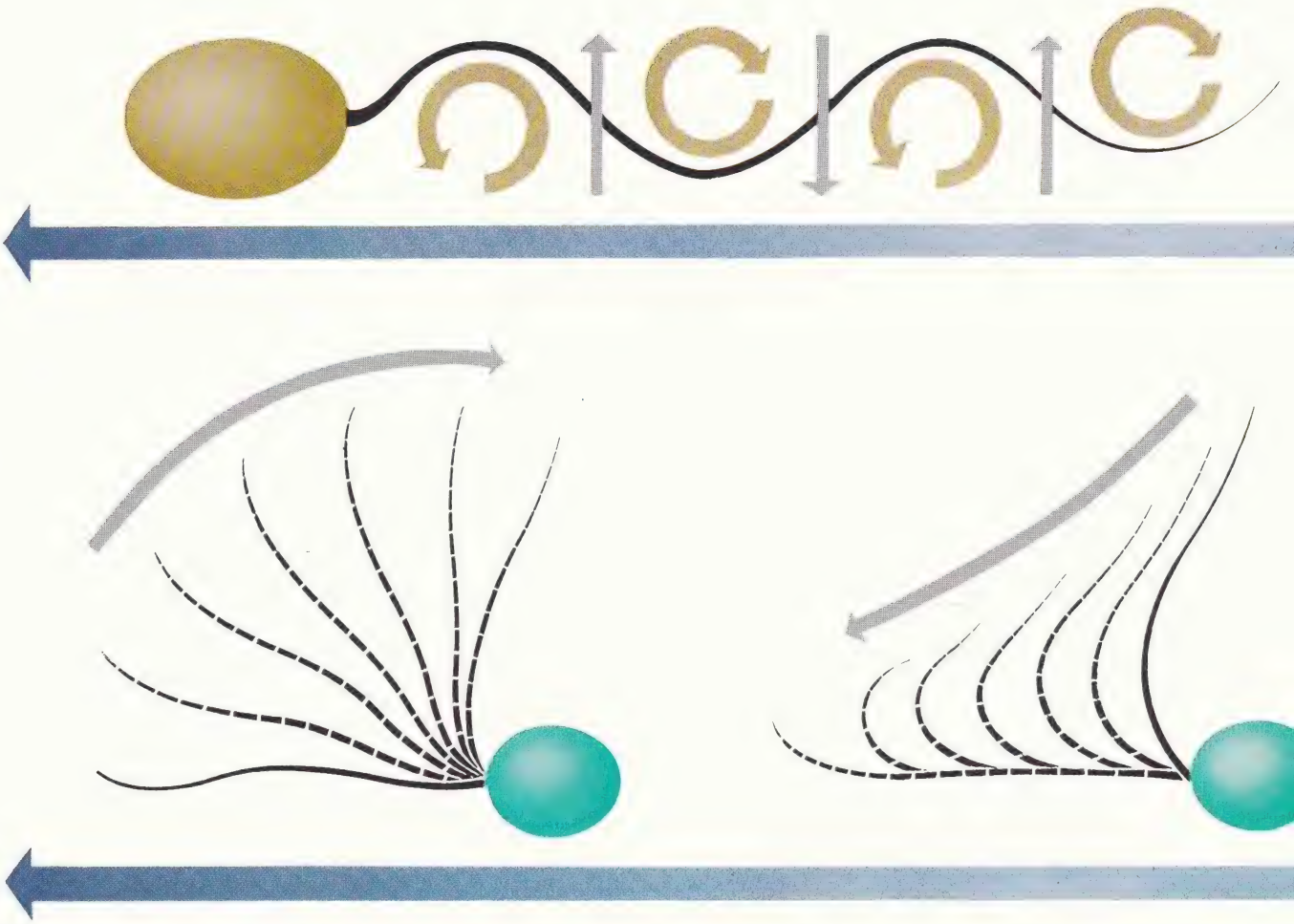
Die Vorteile dieser Gemeinschaftlichkeit müssen beachtlich gewesen sein, da sich das neue System so erfolgreich durchsetzte. Einer dieser Vorteile bestand in der Möglichkeit der Fortbewegung; denn neben der „Spezialisierung" auf Photosynthese und Atmung entwickelte sich nun eine „Spezialisierung" auf die Fortbewegung. Für diese neue Funktion wurden *Geißeln (Flagellen)* und *Wimpern (Zilien)* ausgebildet. Die ersten eukaryontischen Organismen waren also die Flagellaten oder Geißeltierchen.

Wimpern und Geißeln sind in dem dicht unter der Zelloberfläche liegenden „Basalkörperchen" verankert und weisen bei allen einzelligen wie vielzelligen Organismen sowohl pflanzlicher als auch tierischer Natur die gleiche Struktur auf. Auch bei einigen Bakterien finden wir langgezogene Anhängsel, die der Fortbewegung dienen. Doch besitzt die Bakterienzelle kein Basalkörperchen, und ihre Geißel enthält nur eine oder höchstens zwei Fibrillen, während in den Geißeln aller eukaryontischen Zellen zwei zentrale und neun darum herum angeordnete Fibrillen liegen. Die Formel „2 + 9" muß irgendwelche, uns immer

Die Entstehung von Wimpern und Geißeln





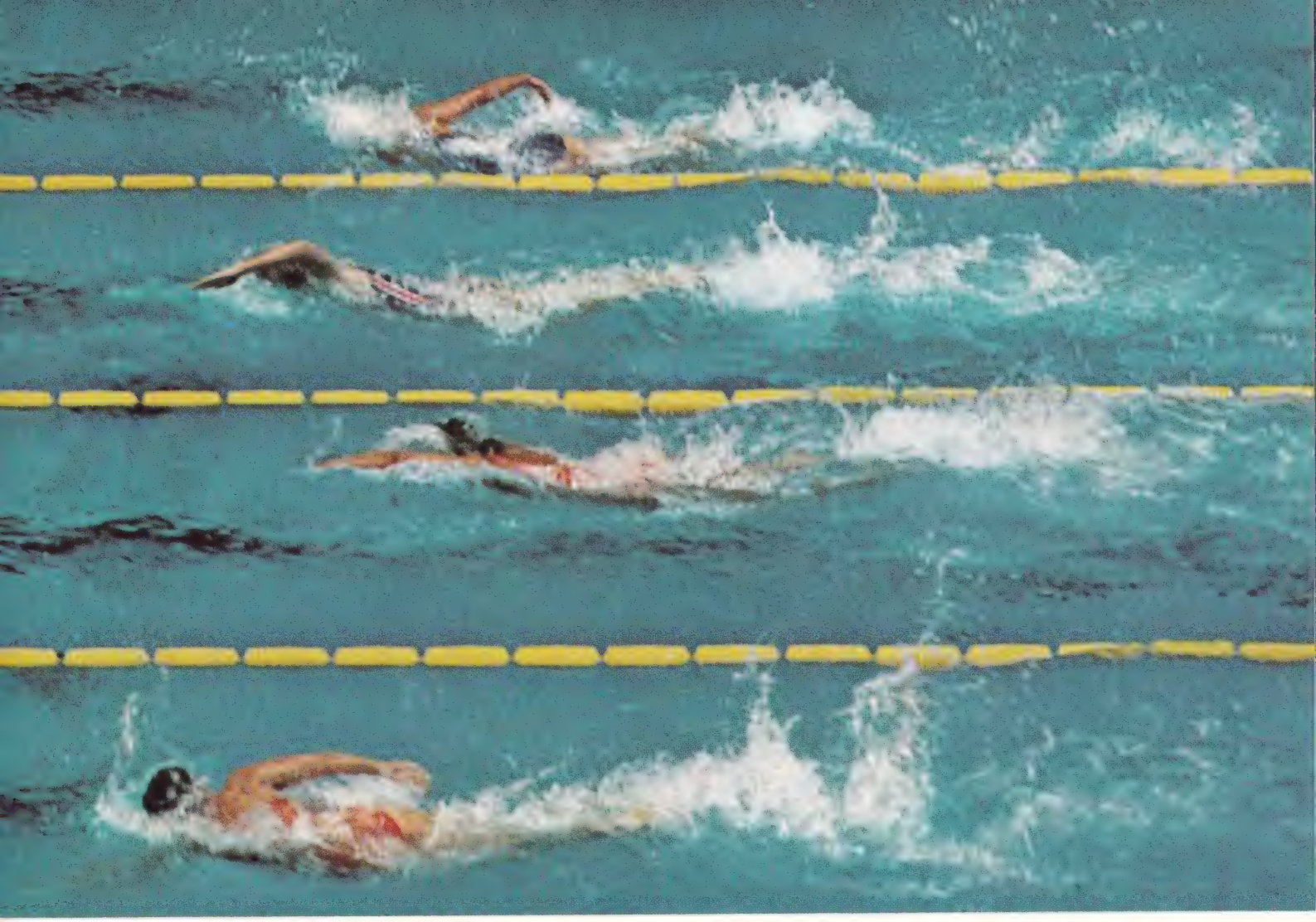


noch unbekannte Vorteile bringen, da die Zellen in Milliarden von Jahren nie davon abgekommen sind. Eine andere Errungenschaft, die ebenfalls nie aufgegeben wurde, ist das kontraktile Protein der Fibrillen, das bei der Geißel eines Flagellats ganz ähnlich ist wie bei den Muskeln des menschlichen Körpers.

Selbst die Formen der Geißelbewegung wurden stets beibehalten. Im wesentlichen unterscheidet man zwischen zwei Bewegungsarten, die auch bei den Zellen höherer Lebewesen beobachtet werden: Die eine basiert auf dem „Peitschenprinzip", die andere auf dem „Ruderschlagprinzip". Beim *Peitschenprinzip* verursacht die Schlängelbewegung der Geißel in der sie umgebenden Flüssigkeit Wirbel, auf denen der Zellkörper dann wie auf einem Rollenlager vorwärts gleitet. Bei den tierischen Organismen bis hinauf zu den höheren Tieren wird das Peitschenprinzip von den Spermien auf ihrem Weg durch die weiblichen Genitalgänge zur Eibefruchtung angewandt.

Beim *Ruderschlagprinzip* schlägt die Geißel steif wie ein Stock in eine Richtung und kehrt dann durch Abbiegen, unter Geringhalten des Widerstandes in der Flüssigkeit, in ihre Ausgangslage zurück. Den „Ruderschlag" verwenden z.B. auch die Zellen, welche die Atemwege auskleiden, um den mit der Luft eindringenden Staub wieder nach außen zu befördern und so von der Lunge abzuhalten. Selbst der Mensch bedient sich dieser uralten Bewegung, wenn er beim Schwimmen die

Geißelbewegungen: oben das „Peitschenprinzip", das auch von den Spermatozoen angewandt wird; darunter das „Ruderschlagprinzip", das auch bewimperte Zellen verwenden, z. B. jene, welche die Atemwege auskleiden.



Arme zuerst steif nach hinten schlägt und sie dann gekrümmt unter dem Körper zur Ausgangsposition zurückführt.

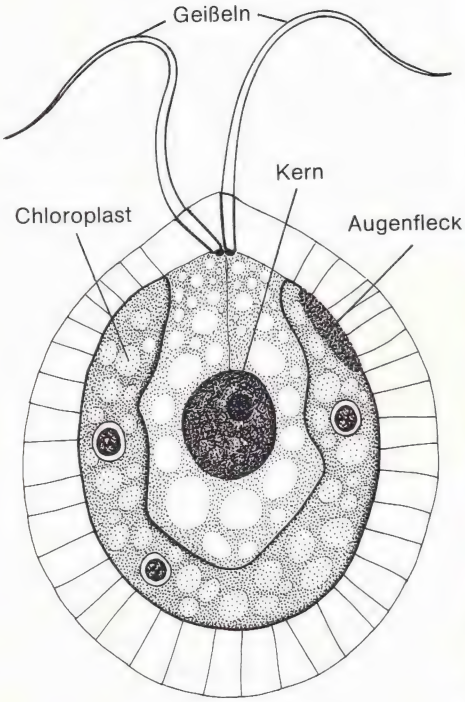
Lange Zeit waren die Geißeltierchen unschlüssig, welchen Weg sie einschlagen sollten: Sollten sie Pflanzen bleiben oder zu Tieren werden? Sollten sie ihre Fähigkeit zur Photosynthese beibehalten, die sie autotroph gemacht und damit in die Lage versetzt hatte, mit Kohlendioxid, Wasser und Sonnenenergie auszukommen, oder sollten sie die Photosynthese aufgeben, sich also nicht länger mit ihrer eigenen Nahrungsherstellung abmühen und statt dessen als Parasiten von anderen Organismen leben?

Beide Möglichkeiten hatten etwas für sich. Die Photosynthese bedeutete eine größere Selbständigkeit, der Verzicht darauf weniger Anstrengung. Es gab jedoch noch einen dritten Weg, den der „Unentschlossenen und Opportunisten": Wechsel zwischen heterotropher und autotropher Ernährung, je nach der sich gerade bietenden Ernährungssituation.

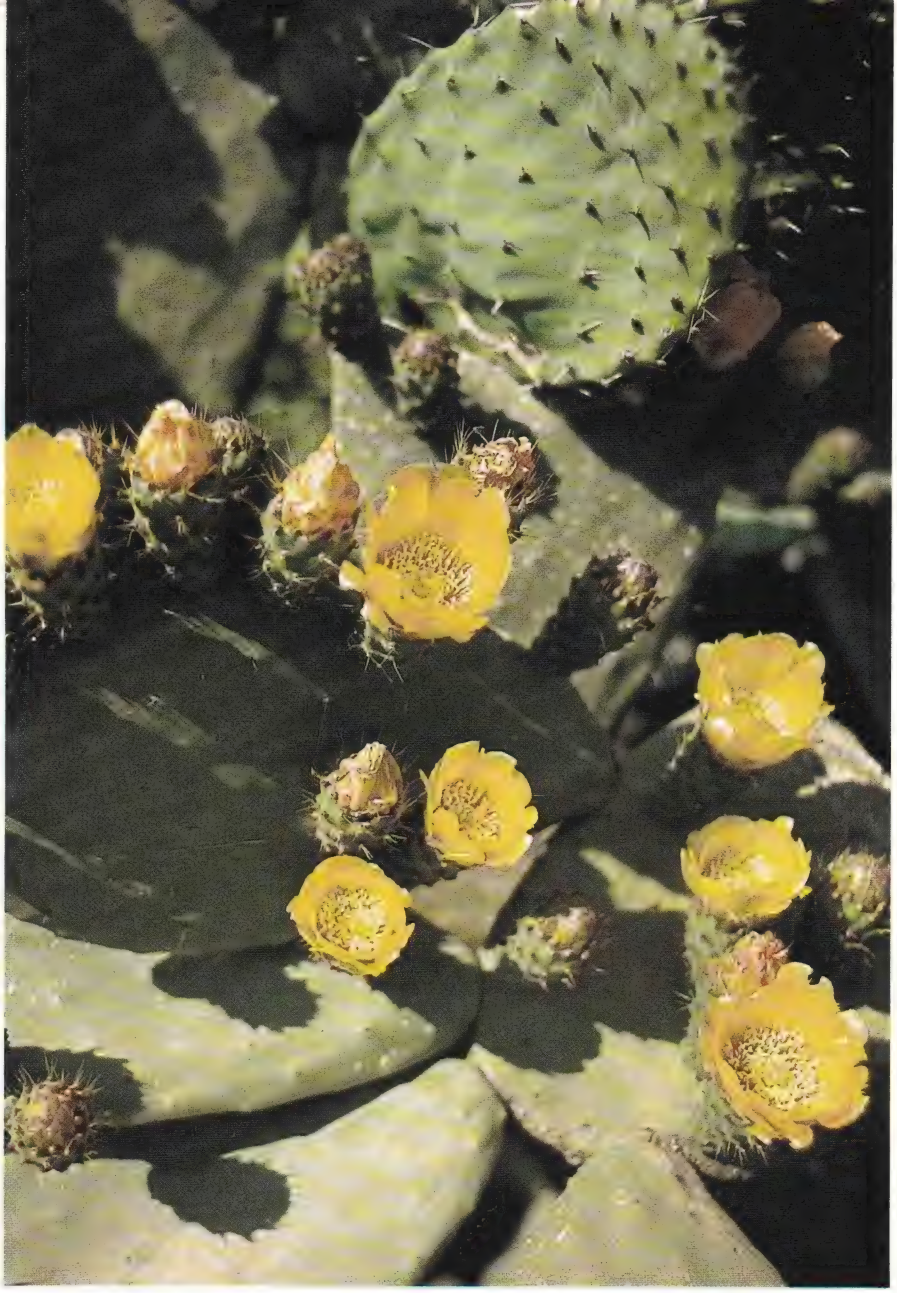
Auch das Kraulen erfolgt nach dem Ruderschlagprinzip. Auf dem Foto: Finale der weiblichen Freistilstaffeln über 4 x 100 m bei der Olympiade in München 1972.

Alle Möglichkeiten werden genutzt

Wie wir gesehen haben, gab es drei Wege, auf denen sich das Leben der Einzeller entwickeln konnte. Alle drei wurden von den äußerst anpassungsfähigen Flagellaten eingeschlagen. So entstanden zuerst die mit Chloroplasten ausgestatteten und daher zur Photosynthese fähigen



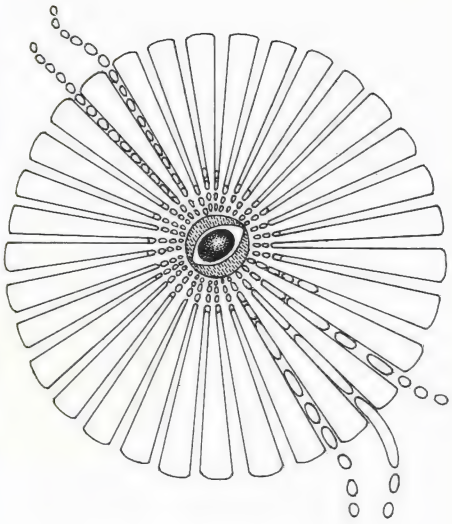
Oben: Haematococcus, ein Vertreter der Phytoflagellaten, die sich im Grenzbereich zwischen tierischen und pflanzlichen Organismen befinden.



Rechts: Kaktusblüten. Die biologische Evolution hat die Kaktuspflanze ihrer dürren, wüstenartigen Umwelt angepaßt.

Organismen, die sog. *Phytoflagellaten* (pflanzliche Flagellaten), dann solche, die auf die Photosynthese verzichteten, die sog. *Zooflagellaten* (tierische Flagellaten), und schließlich blieb noch Raum für die Gruppe der ewig Unentschlossenen, die sich sowohl von lebenden Organismen bzw. deren organischen Resten als auch (im Notfall) autotroph mit Hilfe der Photosynthese ernähren konnten; man könnte von den letzteren auch sagen, daß das diejenigen waren, die jedes Risiko scheuten. Dem muß jedoch sofort hinzugefügt werden, daß „Wer nichts wagt, der nichts gewinnt"; denn die Vertreter dieser dritten Flagellatengruppe sind bis heute im großen und ganzen so geblieben, wie sie vor einer Milliarde Jahren waren, während die Phytoflagellaten und die Zooflagellaten den Weg der Evolution für die pflanzlichen und die tierischen Lebewesen bis hin zum Menschen eröffnet haben.

Mit einem Vertreter der Phytoflagellaten haben wir bereits im vorhergehenden Band Bekanntschaft gemacht, mit *Euglena,* dem „Schönauge", das für die grüne Färbung an der Oberfläche von

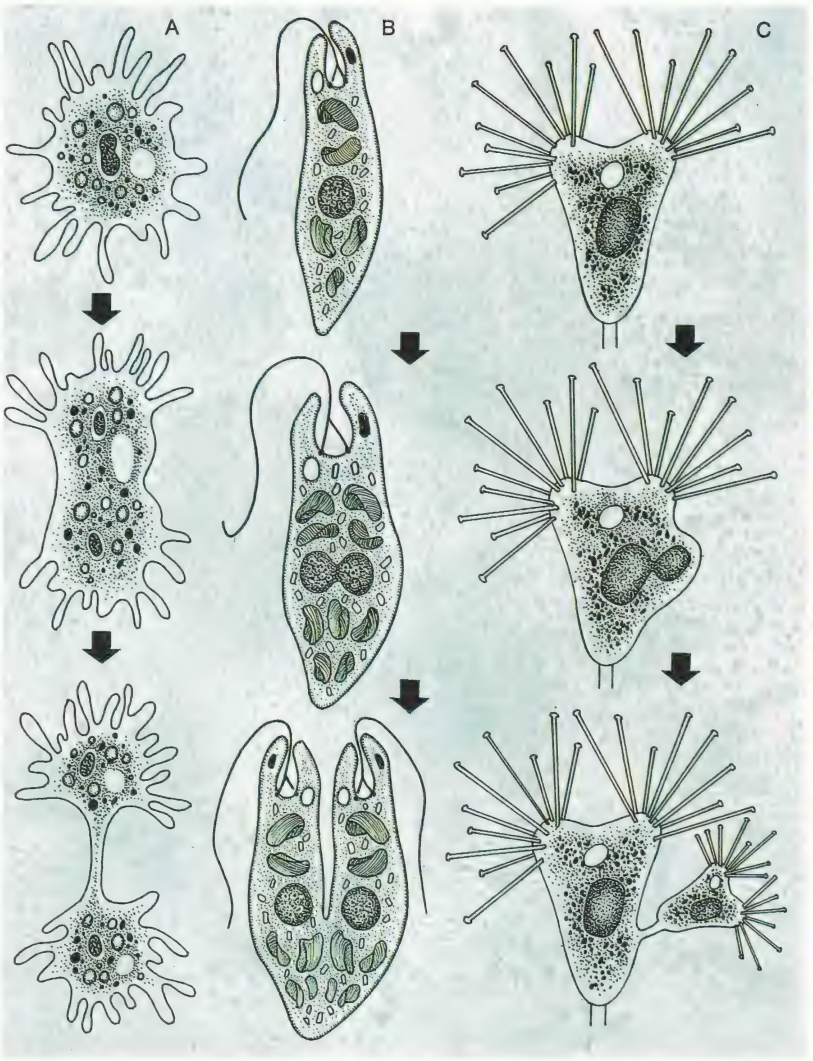


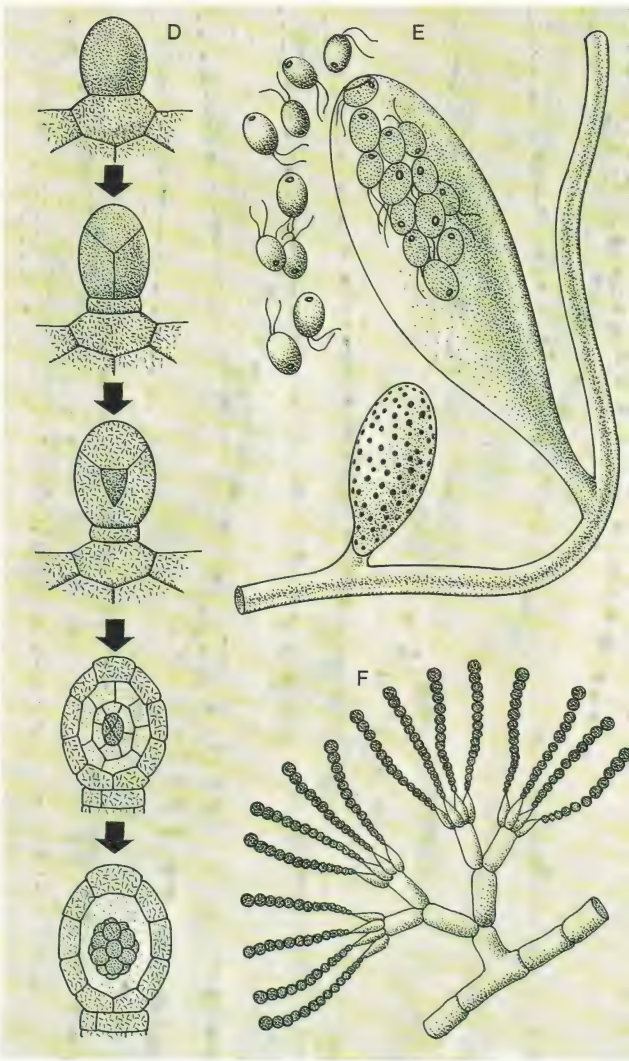
Oben: Querschnitt durch eine Trichonympha, einen Zooflagellaten, der mit Tausenden von Geißeln versehen ist, die aus Vertiefungen des Körpers herausragen.

Links: Der Sumpf bildet einen natürlichen Lebensraum, der eine besonders artenreiche Flora und Fauna aufweist.

stehenden Gewässern mitverantwortlich ist. Es besitzt eine kompliziert gebaute Geißel, die über den nahe ihrer Basis gelegenen Augenfleck, eine Pigmentansammlung, und dessen Schattenwirkung auf Lichtreize reagiert. Dieses Zusammenwirken der Geißel mit einem Augenfleck ist nur für die pflanzlichen Flagellaten, nicht aber für die tierischen typisch. Der Grund dafür liegt klar auf der Hand: Für die Pflanze besteht eine absolute Notwendigkeit, sich ihrer Energiequelle, dem Licht, zuzuwenden, wenn sie sich ernähren will. Das Tier kann auch „blindlings" zu seiner Nahrung kommen, denn sie ist allüberall vorhanden. Durch ihren Ursprung nahe dem „Auge" ist die Geißel der Phytoflagellaten am Vorderende angebracht und zieht daher als Zuggeißel, die hier Rotationsbewegungen ausführt, den Körper hinter sich her. Die Geißel der Zooflagellaten ist dagegen eine nach hinten orientierte Schleppgeißel und drückt den Körper nach dem Peitschenprinzip nach vorn.

Vor 1,3 Milliarden Jahren lagerten sich in Finnland auf dem Meeresgrund merkwürdige Geißeltierchen aus der Familie der *Dinofla-*





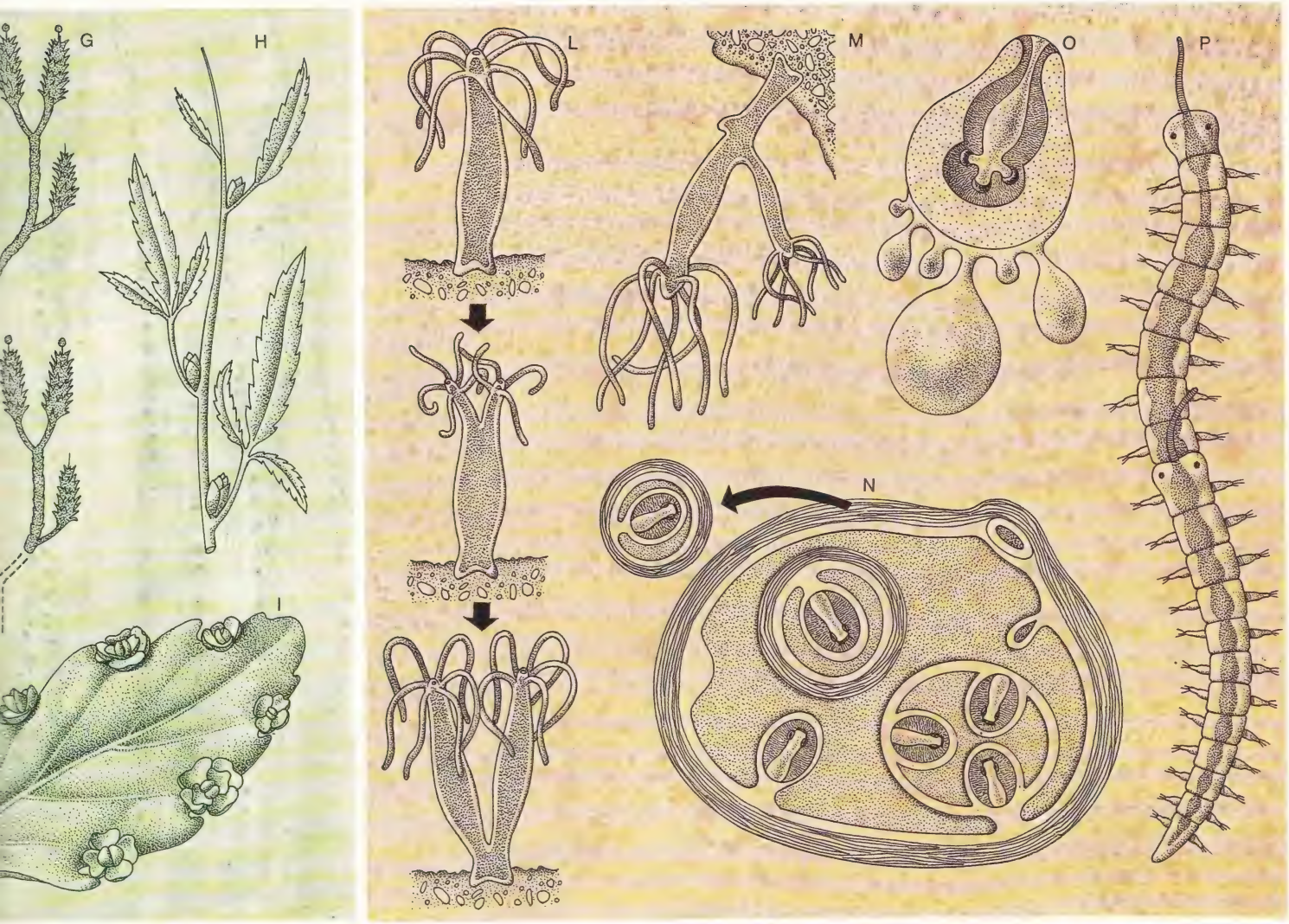
Links: Ungeschlechtliche Fortpflanzung bei Einzellern: Teilung einer Amöbe (A); Längsteilung einer Euglena (B); Knospung einer Acineta tuberosa (C).

Mitte: Ungeschlechtliche Fortpflanzung bei Pflanzen: Sporen und Sporangien beim Tüpfelfarn (D) und bei Saprolegnia (E); Sporenbildung beim Pinselschimmel (F); Triebvermehrung beim Laubmoos (G); Brutknospen in den Blattachseln (H), Brutknospen am Blattrand (I).

Rechts: Ungeschlechtliche Fortpflanzung bei vielzelligen tierischen Organismen: Längsteilung eines Süßwasserpolyps (L); seitliche Knospung eines grünen Polyps (M); Tochterblasen einer Finne des Blasenbandwurms (N); äußere Knospung von Cysticercus longicollis (O); Querteilung eines Vielborsters (P).

gellaten ab. Viele Dinoflagellaten besitzen gemeinsam mit den Pflanzen die Fähigkeit, Zellulose herzustellen, und verfügen daher über einen seltsam geformten Zellulosepanzer. Natürlich macht sie das zu umstrittenen Wesen: Die Botaniker halten sie für Pflanzen, die Zoologen für Tiere.

Dieser Streit zwischen Botanikern und Zoologen bringt den allgemeinen Unsicherheitsstatus der Dinoflagellaten zum Ausdruck. Diese Lebewesen können sich nicht nur nicht entscheiden, ob sie nun eine tierische oder eine pflanzliche Rolle spielen wollen, sondern sie verhalten sich auch bei ihrer Vermehrung sehr unentschlossen. „Sich teilen oder sich nicht teilen, das ist hier die Frage". *Ceratium* und *Gymnodinium* z. B., zwei Vertreter der Dinoflagellaten, machen manchmal mitten in der Teilung halt; daraus entsteht dann eine Kette aus einzelnen Gliedern, die eigentlich noch gar keine „Individuen" darstellen, da sie nicht völlig voneinander abgegrenzt sind. Dieses Phänomen, das wir heute beobachten können, legt die Vermutung nahe, daß es sich auch in vergangenen Zeiten abgespielt hat und daß damit eine erste



Übergangsphase von einem einzelligen zu einem mehrzelligen Organismus eingeleitet wurde.

Die Geschichte des Lebens besteht aus einer langen Reihe von „Irrtümern", aus solchen, die mit dem Leben bezahlt werden mußten, und solchen, die sich später als „glücklich" herausstellten. Wahrscheinlich war der allererste Zooflagellat nichts anderes als ein Phytoflagellat, der durch ein Mißgeschick seine Fähigkeit zur Photosynthese verlor. Und genauso gut kann es sein, daß der Ahnherr der vielzelligen Lebewesen ein einzelliger Organismus war, dem es durch einen Defekt nicht gelang, sich völlig zu teilen. Nicht immer ist die genaue Kopie eines ererbten Modells das beste.

Manchmal kann ein Abschreibfehler den Originaltext verbessern und neue Möglichkeiten eröffnen. Trotzdem ist es ein riskantes Vorgehen; denn von einer großen Anzahl möglicher und tatsächlich vorgekommener Irrtümer läßt sich nur ein winziger Bruchteil als günstig bezeichnen.

Die Flagellaten gehören zur Kategorie der *Einzeller (Protisten),* Organismen, die nur aus einer einzigen Zelle bestehen und die, wenn sie

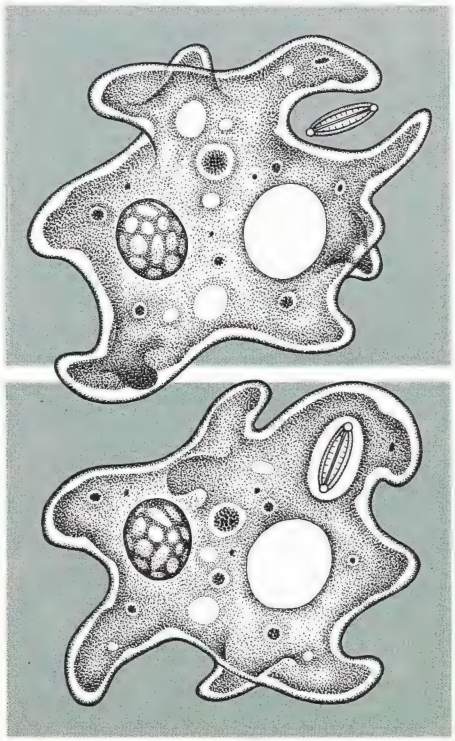
pflanzliche Eigenschaften aufweisen, *Protophyten,* wenn sie dagegen tierische Charakteristika zeigen, *Protozoen* genannt werden. Heute unterscheiden wir bei den Protozoen außer den Geißeltierchen auch noch die Stämme der Wurzelfüßer (Rhizopoden), Sporentierchen (Sporozoen) und Wimpertierchen (Ziliaten). Wir können jedoch mit großer Wahrscheinlichkeit davon ausgehen, daß am Ursprung des Lebens die Flagellaten standen, da ja ihr Hauptmerkmal, die Geißel, wie eine Art lebendes Fossil auch bei den höheren Lebewesen erhalten geblieben ist. Echte fossile Spuren sind jedoch von den Geißeltierchen, wie auch von den Sporen- und Wimpertierchen, nicht überliefert, obwohl sie wahrscheinlich in jener Urzeit schon existiert haben. Aber ihre Körper besaßen keine harten Strukturen; es waren vielmehr weiche, gallertartige Wesen, die verschwanden, ohne eine Spur zu hinterlassen.

Was die Amöbe alles kann

Bei den *Wurzelfüßern* oder *Rhizopoden* liegt die Sache wieder anders: Sie besaßen Hartteile, und so sind uns von ihnen fossile Reste erhalten geblieben. Die Wurzelfüßer machten eine sehr wichtige Erfindung auf dem Gebiet der Fortbewegung. Anstelle einer Geißel, die nur beim Schwimmen von Nutzen ist, bildeten sie sog. *Scheinfüßchen (Pseudopodien)* aus, mit denen sie sich auf einer festen Unterlage fortbewegen konnten, und erweiterten damit die Möglichkeiten, ihren Lebensraum zu erforschen.

Auf den ersten Blick erscheint die Fähigkeit, den eigenen Körper nach irgend einer Seite hin zu verlängern, gar nicht so eindrucksvoll. Bedenken wir jedoch, daß z. B. der Mensch das, was die simple *Amöbe* fertigbringt, nicht vermag. Diese Fähigkeit, Scheinfüßchen auszubilden, hat ihre Ursache darin, daß die den Zellkörper bildenden Proteine entweder kettenartig zusammenhängen können und das Plasma dann gelatinös ist oder aber nicht miteinander in Verbindung stehen und das Plasma dann leicht fließen kann. Die Schleimhülle garantiert den Kontakt mit der Oberfläche, auf der sich die Amöbe bewegt.

Nahrungsaufnahme einer Amöbe.



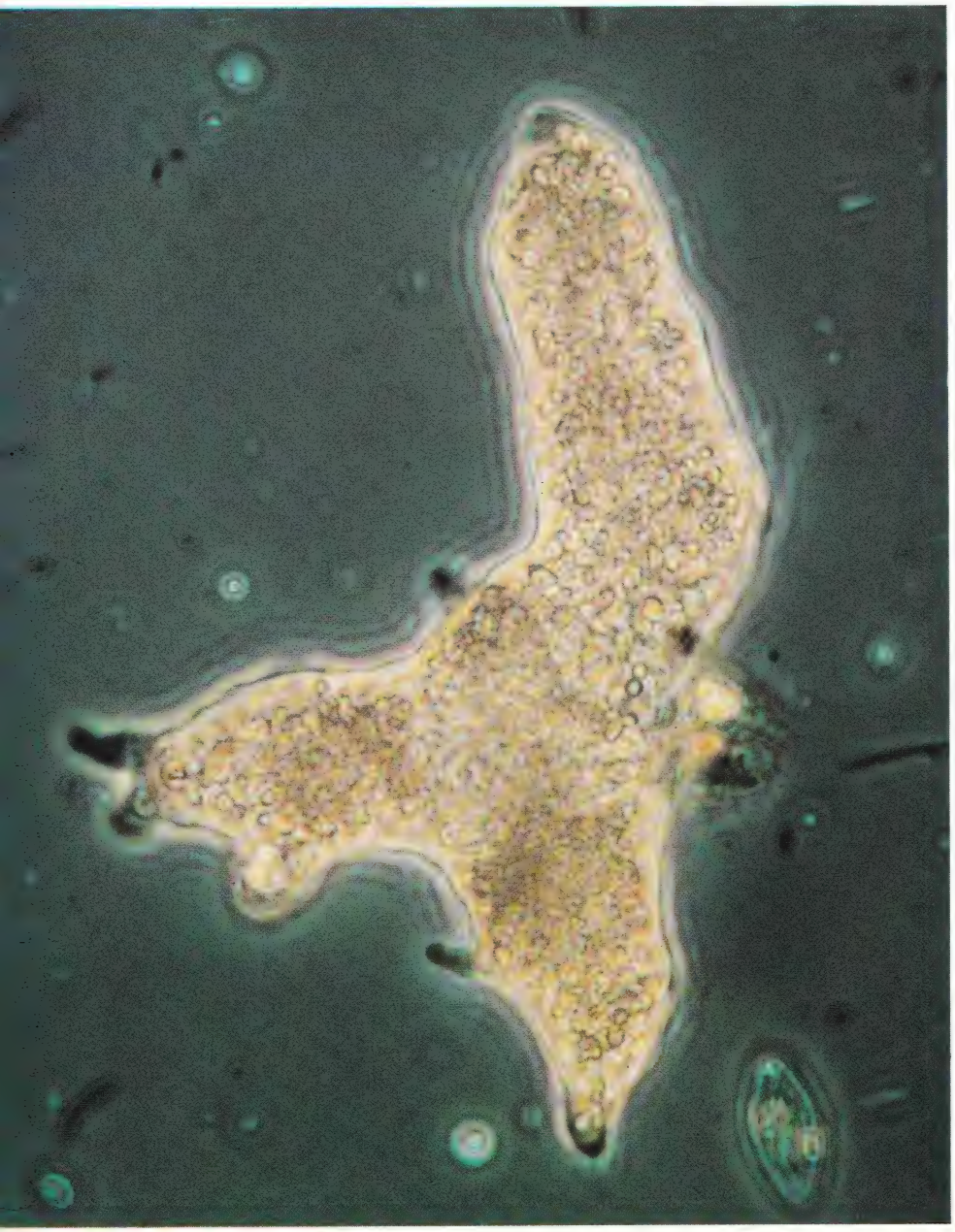
Wenn die Amöbe also ein Scheinfüßchen ausstreckt, so bedeutet das, daß sie ihre Proteine an einem der Kontaktpunkte mit der Unterlage zusammenzieht und sie am entgegengesetzten Punkt verflüssigt. Daraus ergibt sich ein flüssiger Strom im Zellkörper, der den Schwerpunkt der ganzen Zelle verlagert.

Vielleicht handelte es sich auch hierbei zunächst um einen sich vorteilhaft auswirkenden „Unfall", indem der Verlust der Geißel eine Zelle dazu zwang, eine andere Fortbewegungsart zu „erfinden". Jedenfalls konnte man bereits unter dem Mikroskop beobachten, wie ein Flagellat, der seine Geißel verlor, die Eigenschaften einer Amöbe annahm.

Das Fortbewegungssystem der Amöbe ist jedoch komplizierter als das der Flagellaten, da daran der gesamte Zellkörper aktiv beteiligt ist und nicht nur ein geißelförmiger Anhang. Außerdem weist der Amöbenkörper neben einer genauer ausgerichteten Beweglichkeit auch noch weitere Vorteile auf: Die Pseudopodien können ein winziges Nahrungsteilchen umfließen und dann in einer sackartigen Einstülpung einschließen, in der es dann verdaut wird – so wie wenn wir einen Apfel vom Baum pflücken und ihn dann über die Hand in uns aufnehmen würden, ohne ihn zum Mund zu führen.

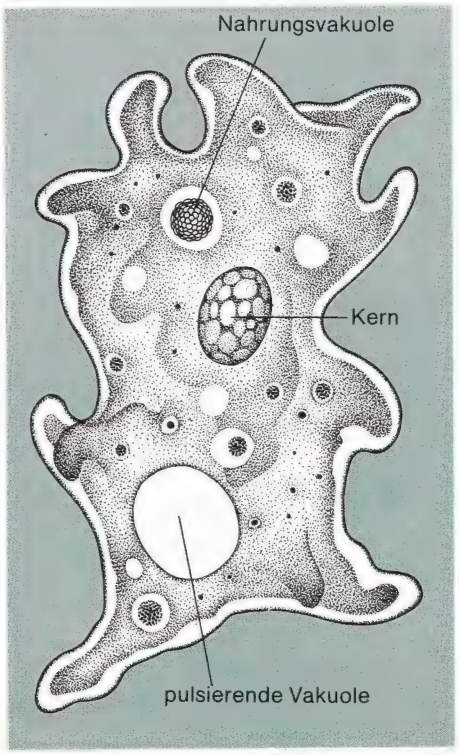
Wer immer versucht ist, von der „Einfachheit" dieser Protozoen zu sprechen, sollte einmal eines dieser Lebewesen beobachten (natürlich

unter dem Mikroskop, da beispielsweise eine der größten und häufigsten Amöben, *Amoeba proteus,* nur kanpp 1–2 mm mißt), während es sich bewegt und seine Beute fängt: Handelt es sich bei dieser Beute um eine bewegungslose einzellige Alge, dann fließt die Amöbe langsam um sie herum. Handelt es sich jedoch um einen schnellschwimmenden tierischen Einzeller, so schickt die Amöbe lange Pseudopodien aus, die das Opfer wie in einer großen Umarmung umgreifen, ohne es jedoch zu berühren. Erst wenn die Beute völlig eingekreist ist und keinen Ausweg mehr hat, wird sie eng von den Scheinfüßchen umschlungen und schließlich dem Plasma der Amöbe einverleibt. Amöben können sogar unterscheiden, welche schwimmenden Teilchen als Nahrung geeignet sind und welche nicht.



Links: Stark vergrößerte Aufnahme einer Amöbe.

Unten: Bauplan einer Amöbe.



Diese Überlegenheit in der Fortbewegung, im Beischaffen der Nahrung und in deren Verarbeitung verlieh den neuen Organismen einen höheren Rang, der auch in einer Zunahme der Körpergröße zum Ausdruck kam. Das erwies sich jedoch als ein zweischneidiges Schwert: Die körperliche Überlegenheit hat zwar Vorteile kleineren und schwächeren Konkurrenten gegenüber, denen man die Nahrung vor der Nase wegschnappen kann; auf der anderen Seite aber bietet ein großer Körper seinen Feinden wesentlich mehr Angriffsflächen, und es kann passieren, daß er, während das Tier selbst noch frißt, von hinten her seinerseits bereits aufgefressen wird.

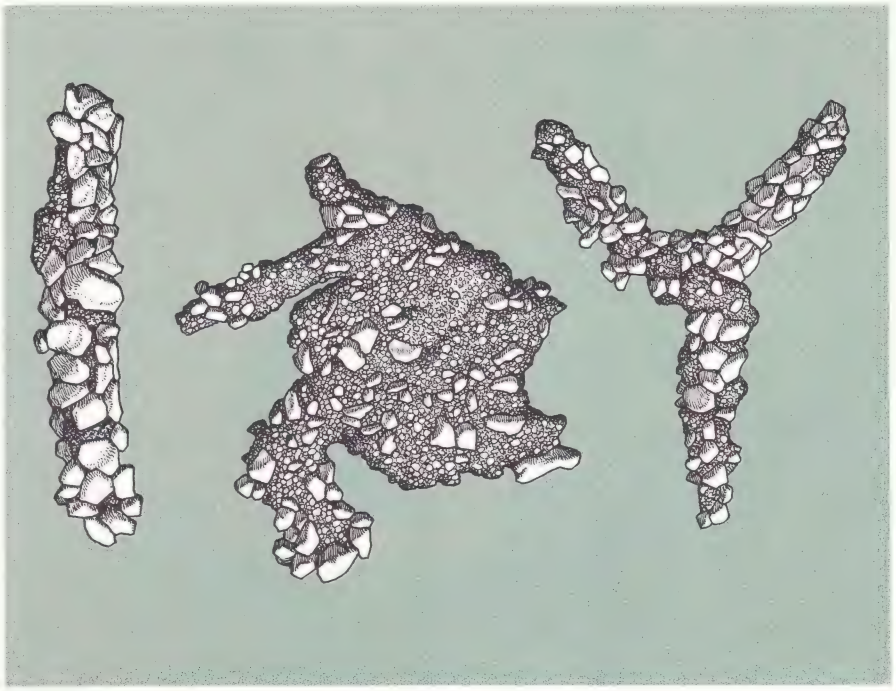
Das einzige Mittel, etwas gegen diese Gefährdung zu unternehmen, bestand darin, sich eine Rüstung zuzulegen, einen Schutzpanzer anzufertigen. Die Überlegung, sich eines solchen Schutzes zu bedienen, wurde auch in den folgenden Millionen von Jahren immer wieder angestellt und hat schließlich bis zur Herstellung moderner „Panzerwagen" geführt.

Ketten und Sterne, Kammerlinge und Strahlentierchen

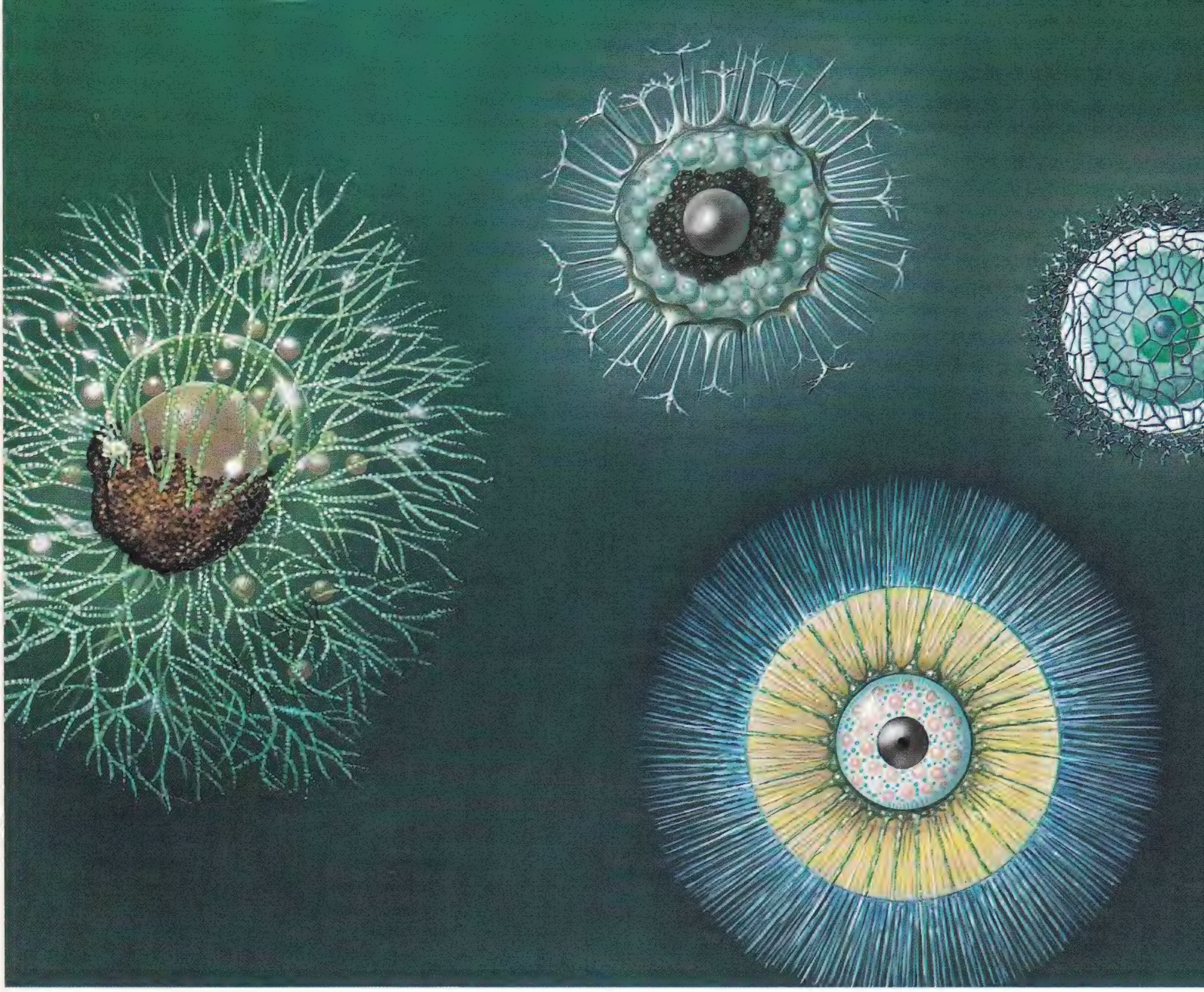
Die Ausbildung eines Schutzpanzers wirft ein schwieriges biologisches Problem auf: Wie kann man sich mit einem festen Panzer umgeben und gleichzeitig darin wachsen? Denn selbst die winzigen Protozoen sind bei ihrer Geburt noch winziger und wachsen dann nach. Die höheren Tiere und auch der Mensch haben bei ihrem Schädel das Problem der harten Schale und des inneren Wachstums mit Hilfe von Knochenplatten, die noch keine starre Einheit bilden, auf geniale Weise gelöst.

So „schlau" waren unsere Protozoen noch nicht; sie entwickelten das System, den Panzer im Laufe ihres Wachstums mehrmals zu wechseln. Zunächst bauten sie sich eine kleine Schale mit einem Löchlein darin. Aus diesem Löchlein heraus errichteten sie dann eine

Rechts: Fossile Foraminiferen des Ordoviziums. Von links nach rechts: Maripella, Kerionammina und Rhabdammina.



Rechte Seite: vergrößerte Exemplare von Globigerina bulloides, die zu den verbreitetsten Foraminiferen des Meeresplanktons gehörten. Auf dem Boden Schalen anderer Foraminiferen, die gewöhnlich aus Calciumcarbonat bestehen (mit kleinen Beimengungen anderer anorganischer Zusammensetzungen wie Kieselsäure und Magnesiumsulfat).



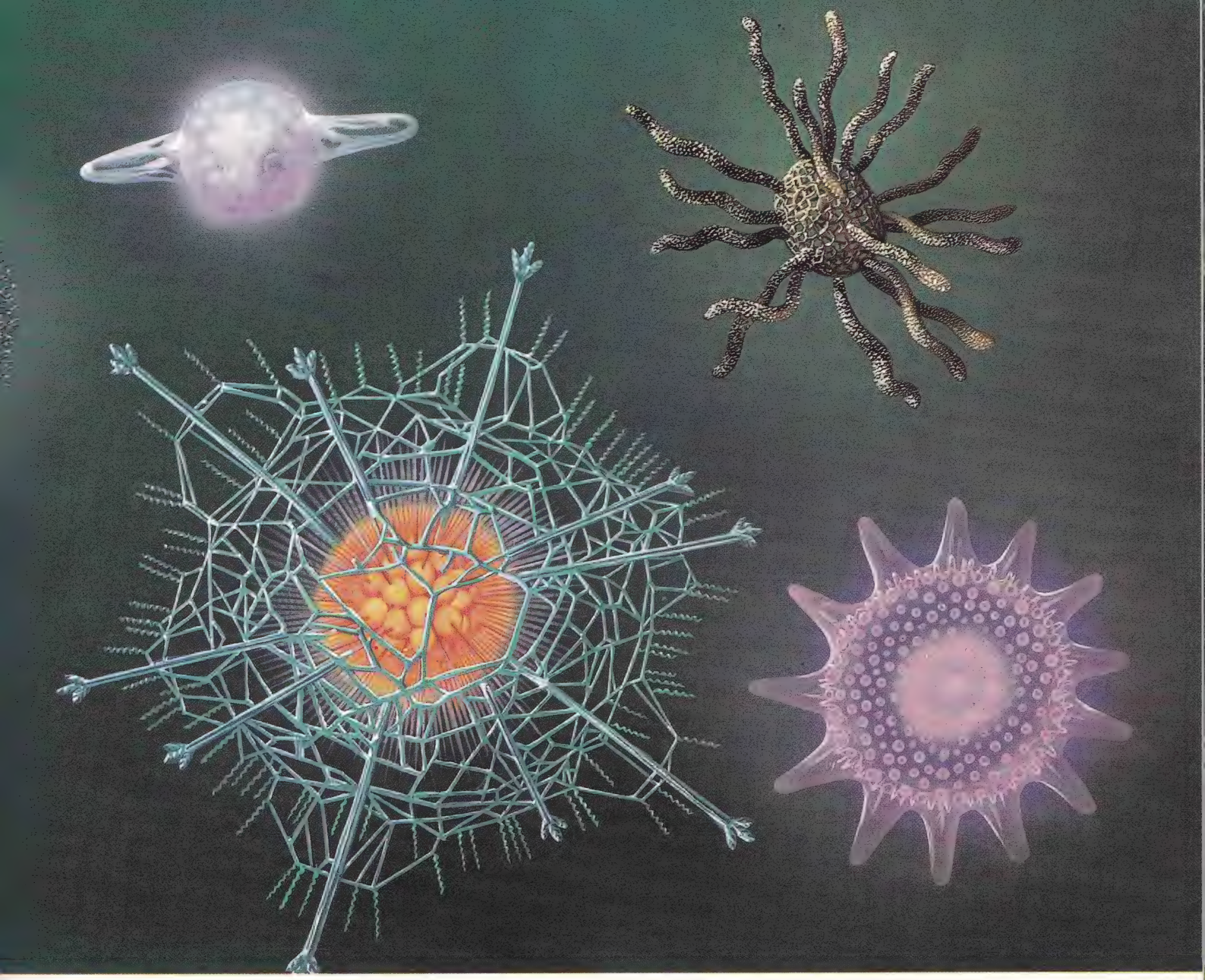
Oben: Zu den schönsten Protozoen gehören die Radiolarien oder Strahlentierchen, von denen einige hier stark vergrößert abgebildet sind. Von oben nach unten und von links nach rechts: Lithocircus magnificus, Auloceros elegans, Actissa princeps, Thalassaxanthium cervicone, Stylosphaera, Lychnosphaera regina, Orosphaera serpentina und schließlich Cenosphaera, ein rekonstruiertes Strahlentierchen aus dem Känozoikum.

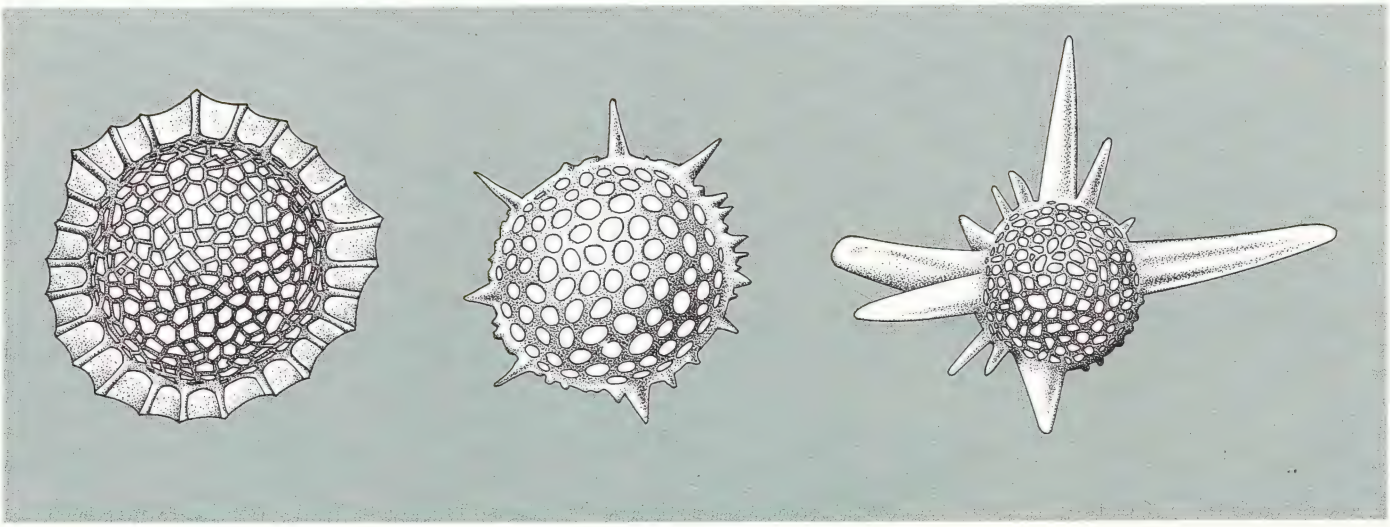
Rechte Seite, unten: Fossile Radiolarien aus dem Paläozoikum.

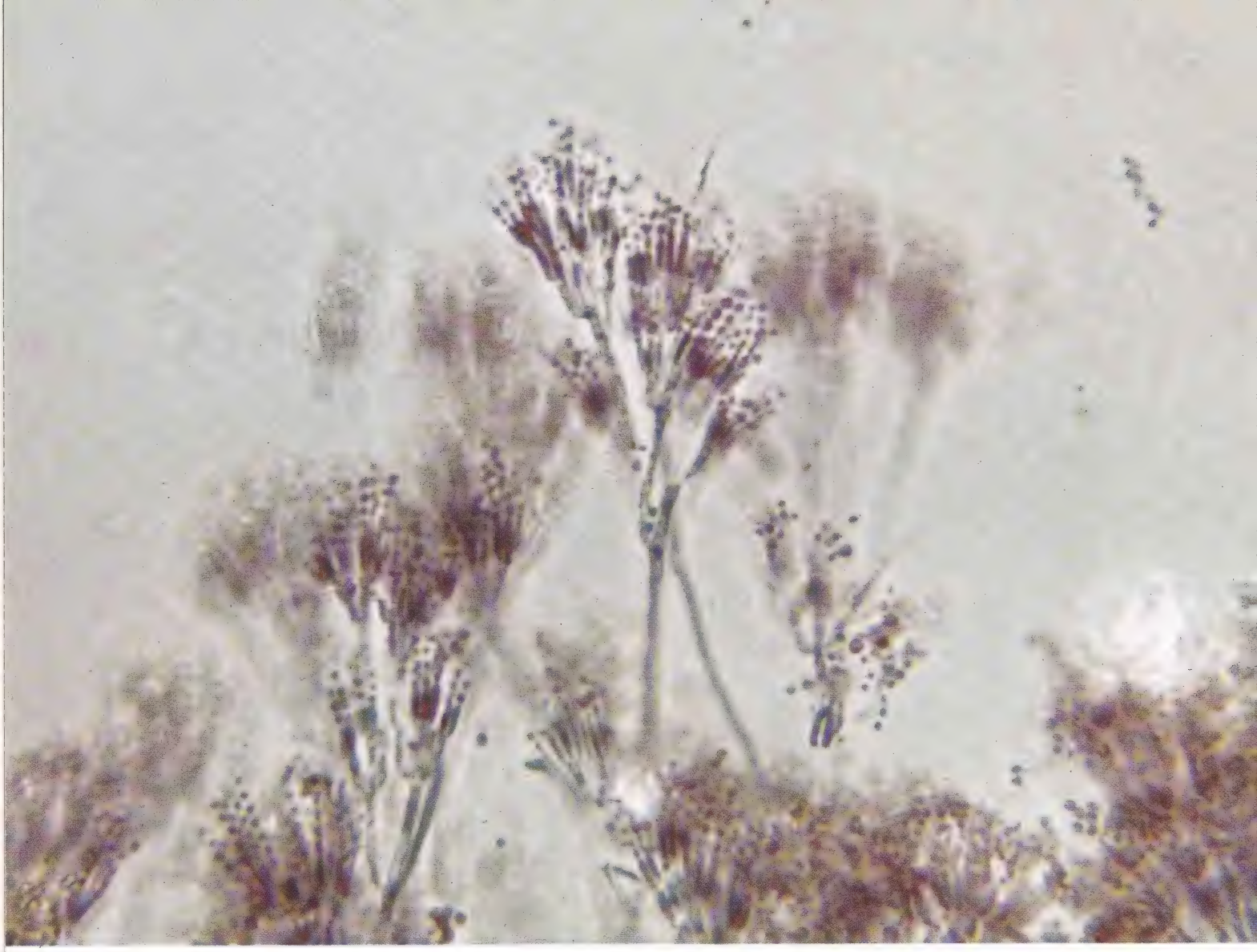
größere Schale, zogen in diese neue Kammer ein und begannen von neuem, eine Schale auszubilden. Daraus entstand in bestimmten Fällen eine Art Kette aus immer größer werdenden kugeligen Kammern, in anderen Fällen eine Art „Zwiebel" aus sich gegenseitig überdeckenden Kammern. In jedem Fall aber bestand das System aus einer ständigen Folge von Umzügen.

Allem Anschein nach konnte die Schale nicht völlig kompakt gewesen sein, sondern mußte Poren aufgewiesen haben, aus denen die Pseudopodien nach außen vorgestreckt werden konnten. Die Pseudopodien selbst hatten sich zu dünnen und verzweigten Plasmafäden entwickelt. So entstanden Lebewesen, die trotz ihrer einzelligen Struktur sehr kompliziert und von großer Schönheit waren: die *Foraminiferen* oder *Kammerlinge.*

Eine ähnliche, wenn auch nicht völlig gleiche Lösung, wurde von den *Strahlentierchen* oder *Radiolarien* gefunden: Sie versahen sich im Innern mit einer sog. Zentralkapsel, die mit Öffnungen versehen und







Kolonie des Pinselschimmels, aus dem das wertvolle Penicillin gewonnen wird.

nicht so hart war wie die Schale der Foraminiferen. Sie konnte mit dem Körper wachsen und war kräftig genug, um ihn zu stützen. Sie bestand aus einer Substanz ähnlich der, die den Körper der Insekten umgibt, und war mit einer Reihe spitzer Skelettnadeln besetzt. Während sich also die Foraminiferen mit einem harten, ziemlich kompakten Panzer umgaben, verwandelten sich die Radiolarien in stachelige Gitterkugeln.

Zur Härtung ihrer Schalen und Stacheln bedienten sich die Radiolarienzellen im Unterschied zur Kalkschale bei den Foraminiferen eines Elements, das von höheren Organismen nicht mehr verwendet wird: des Siliciums. Einige Strahlentierchen verwendeten auch Strontiumsulfat, das sich jedoch vermutlich nicht bewährte; denn Strontiumsalze wurden als Bauelement von den Radiolarien bald wieder aufgegeben.

Die Skelette toter Foraminiferen und Radiolarien bilden heute weitgehend den Boden unserer Meere. Auch die weißen Felsen von Dover und die Kalklager von Kansas verdanken wir diesem sog. *Radiolarienschlamm.*

Eine weitere Errungenschaft der Strahlentierchen war die Fähigkeit, sich mit Ölbläschen in variierbarer Menge zu versehen, mit denen das Eigengewicht verändert werden konnte. Das gab ihnen die Möglichkeit, sich selbsttätig im Wasser auf- und abwärts zu bewegen. Dagegen

hatten sie mit der Entwicklung ihrer Gehäuse ihre amöboide Bewegungsfähigkeit verloren. Ihre strahlen- oder netzförmig ausgebreiteten Scheinfüßchen dienten nur mehr als Schwebeeinrichtung und dem Beutefang.

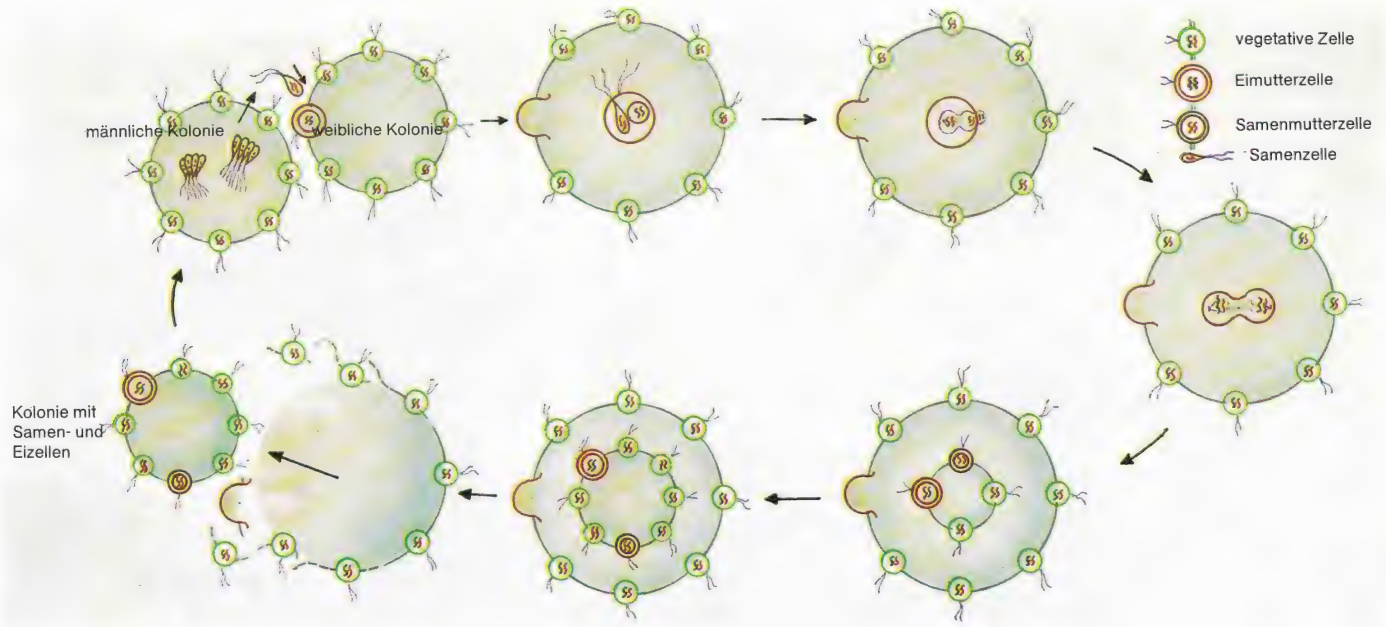
Ihr großer Fortschritt hatte also auch einen Rückschritt zur Folge: Die Einzeller, die als planktontische (d. h. frei im Wasser schwebende) Flagellaten begonnen hatten und sich dann auf Grund der amöboiden Fortbewegungsweise den benthontischen Lebensraum (d. h. den Wassergrund) eroberten, kehrten nun wieder zur planktontischen Lebensweise zurück – mit dem einen Unterschied jedoch, daß sie in der Zwischenzeit die Fähigkeit zur aktiven vertikalen Ortsbewegung erworben hatten.

Wir können uns die Foraminiferen- und Radiolarienzelle jeweils als überzeugten Individualisten vorstellen, der entschlossen ist, all seine Probleme allein zu lösen, und dabei erstaunliche Dinge zuwege bringt. Aber gerade die Starrheit der Schalen und der Stachelskelette, die diese Organismen vor anderen Lebewesen schützten (und denen wir ihre fossilen Reste verdanken), hinderten Kammerlinge wie Strahlentierchen daran, den erfolgreicheren Weg der Gemeinschaftlichkeit einzuschlagen, wie es den schalen- und skelettlosen Zellen möglich war.

Diese „weichen" Zellen hinterließen zwar keine fossilen Reste aus der Zeit ihrer Entwicklung, dafür aber etwas viel Bedeutenderes: lebendige Spuren in Form ihrer Nachfahren, zu denen auch wir selbst gehören.

Der Weg, den einige „weiche" Zellen einschlugen, bestand darin, daß sie sich nach ihrer Geburt nicht völlig voneinander trennten, sondern als „Familie" zusammenblieben. Diese unvollkommene Teilung konnte sich auf verschiedenen Ebenen und auf verschiedenen Wegen vollziehen: durch die Teilung des Kerns ohne Teilung des Zellkörpers bei der Fortpflanzung, was zur Ausbildung von Zellen mit mehreren Kernen führte, oder durch Teilung sowohl des Kerns als auch des Protoplasmas

Bei der Volvoxkolonie finden wir eines der frühesten Beispiele für die Differenzierung männlicher und weiblicher Fortpflanzungszellen.



Unten: Volvoxkolonien mit kleinen Tochterkolonien, die im Innern der Erzeugerkolonien sichtbar sind.

innerhalb der Zellmembran, die sich ihrerseits nicht teilte. Das erste Verfahren wurde von manchen Grünalgen (Cladophora, Vaucheria) und dem Pinselschimmel (Penicillium), aus dem wir das Penicillin gewinnen, angewandt. Das zweite Verfahren schuf die sog. „Zellkolonien", für die Pandorina, Eudorina und Volvox typische Beispiele sind.

Die Überwindung der Einzelligkeit

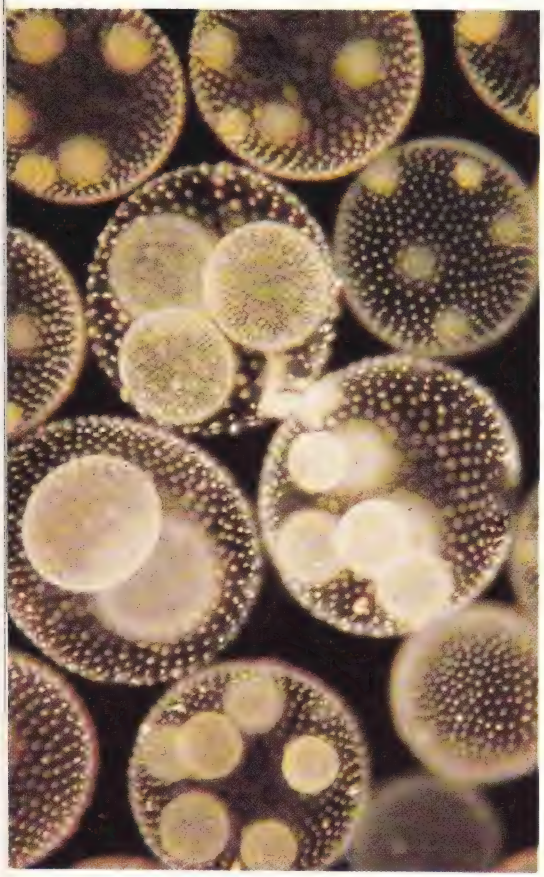
Mit der *Eudorinakolonie* zeichnet sich eine Entwicklung ab, die bei den höheren Lebewesen eine Fortsetzung findet. Diese Kolonie besteht aus 32 Zellen, von denen jedoch vier nicht teilungsfähig sind. Die Eudorinazellen sind also in irgendeiner Weise voneinander unterschieden. Die Vermutung liegt daher nahe, daß in einer Zellkolonie, ähnlich wie der heutigen Eudorina, das Phänomen der Zelldifferenzierung seinen Anfang genommen hat. Gleichzeitig damit verloren diese Lebewesen ihre „Unsterblichkeit" (der Tod war vorher höchstens durch ein zufälliges Ereignis eingetreten), und es bahnte sich die Differenzierung in unterschiedliche Geschlechtszellen an.

Während die Sexualität des *Pantoffeltierchens (Paramecium),* eines Einzellers ohne Schale und Skelett (aus dem Stamm der Wimpertierchen oder Ziliaten), in einem Austausch von genetischem Material (Nukleinsäuren) zwischen zwei Individuen besteht, bezieht sich die Sexualität von *Eudorina* auf die Entwicklung von Zellen, die auf die Fortpflanzung „spezialisiert" sind: den *Geschlechtszellen* oder *Gameten.* Verschmelzen zwei Gameten miteinander, so entsteht daraus eine sog. „totipotente" Zelle, die zur Bildung sämtlicher Zelltypen des jeweiligen mehrzelligen Lebewesens fähig ist.

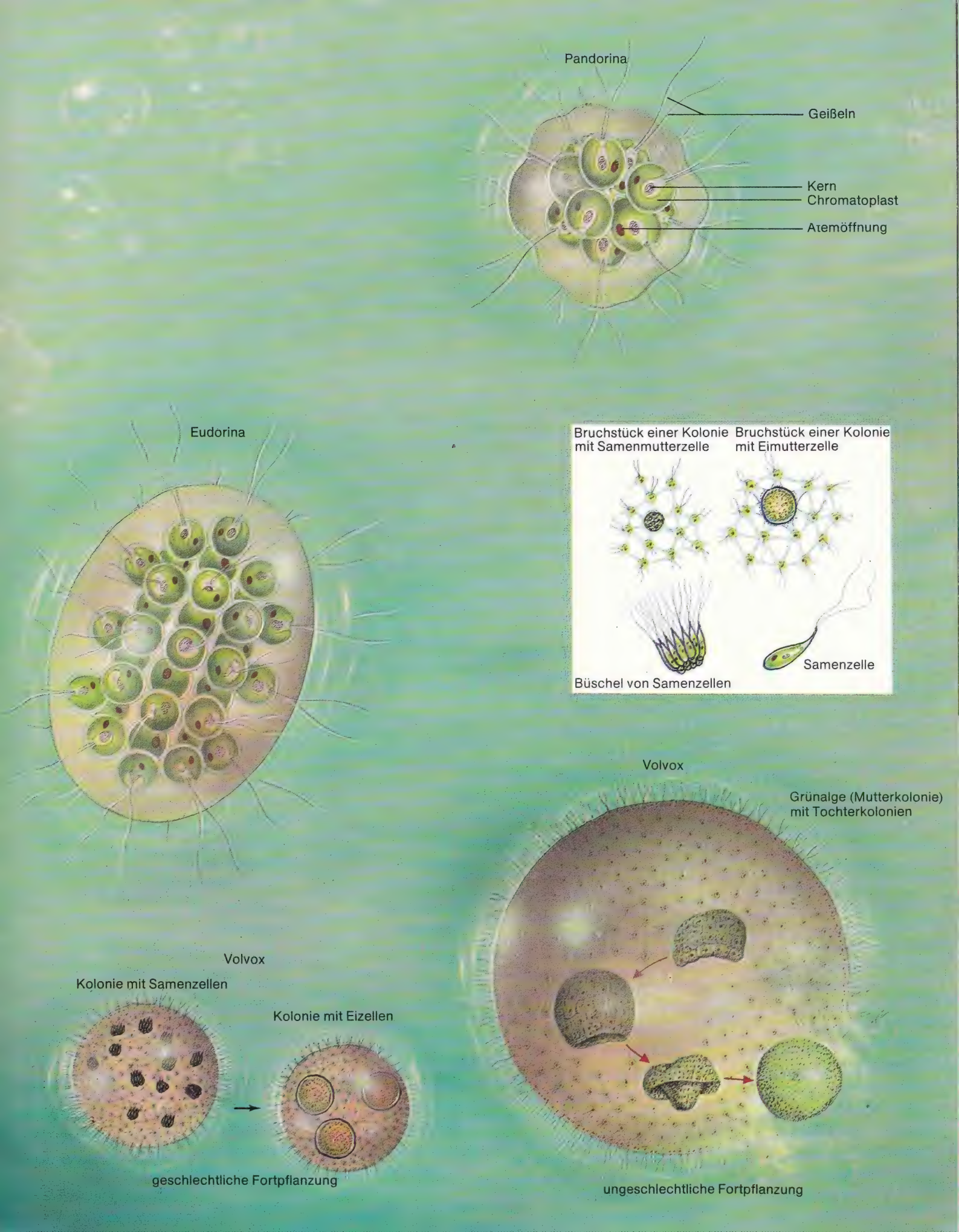
Man kann also zwischen der Entwicklung von „somatischen" oder „Körperzellen" und der von Keimzellen (in einer sog. „Keimbahn") unterscheiden; das gleiche ist auch bei den höheren Tieren und Pflanzen der Fall: Nur aus den Keimzellen kann neues Leben entstehen, nicht aber aus den Körper- oder Somazellen (der Haut, der Muskeln, der Lungen usw.). Wir können uns also eine direkte Leitlinie („Bahn") vorstellen, die das aus dem (befruchteten) Ei entwickelte Gewebe eines neuen Eierstocks mit dem Eierstock des Mutterwesens und diesen wiederum mit dem der Mutter des Mutterwesens und so fort verbindet. Dagegen ist z. B. das Lungengewebe ebenfalls aus einem befruchteten Ei entstanden, jedoch nicht aus dem Lungengewebe des gebärenden Individuums.

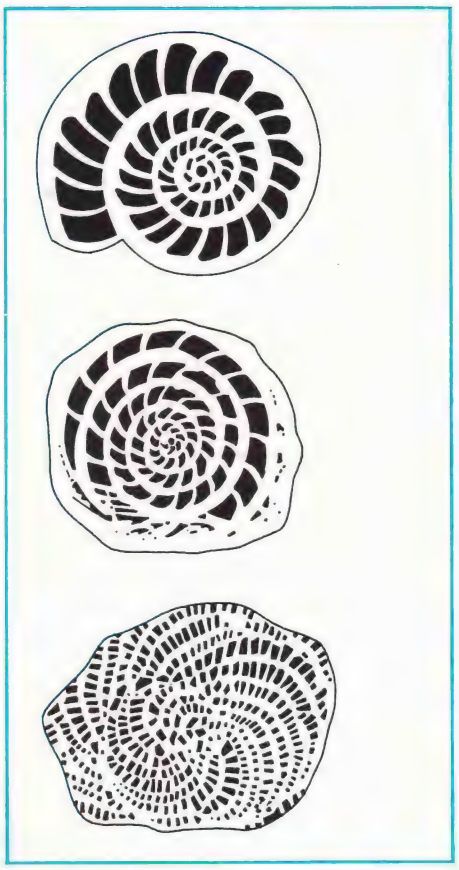
Diese Aufteilung in Geschlechtszellen und Körperzellen führt zu einer anderen Form von Sexualität, als wir sie bei den Bakterien und auch bei den Pantoffeltierchen kennengelernt haben: Sie weist den Weg zur sog. „höheren Sexualität", wie wir sie bei den höher entwickelten Lebewesen und auch beim Menschen finden.

Gleichzeitig führt die neue Form der Sexualität jedoch auch zum Tod der Lebewesen. Die Fortpflanzungszellen behalten allerdings eine gewisse Form der Unsterblichkeit bei: Haben sich zwei Gameten miteinander verschmolzen, so beginnt ein Teilungsprozeß, durch den wiederum Fortpflanzungszellen gebildet werden, und so fort. Der Körper stirbt dabei immer wieder ab. Vor dieser Spezialisierung existierte der Tod nur als Unglücksfall, d. h. vor allem als Folge einer Veränderung des Lebensraums, der für das Leben einer bestimmten Zelle ungeeignet wurde. Solange jedoch nichts Derartiges eintrat, fuhr jede Zelle damit fort, sich in zwei Hälften zu teilen, ohne je zu sterben.



Rechte Seite: Koloniebildende Flagellaten: Die Eudorina- und Pandorinakolonien haben eine hohlkugelförmige oder eiförmige Gestalt. Die Anzahl der Zellen, die eine Kolonie bilden und die alle imstande sind, sich zu vermehren, schwankt zwischen 4 und 64. Bei Volvox gibt es neben den Kolonien, die eine erste Differenzierung der Fortpflanzungszellen vornehmen, auch solche, die sich auf ungeschlechtlichem Wege vermehren. Das weiße Kästchen zeigt einige vergrößerte Einzelheiten der Volvoxfortpflanzungszellen.


Pandorina
Geißeln
Kern
Chromatoplast
Atemöffnung
Eudorina
Bruchstück einer Kolonie mit Samenmutterzelle
Bruchstück einer Kolonie mit Eimutterzelle
Samenzelle
Büschel von Samenzellen
Volvox
Grünalge (Mutterkolonie) mit Tochterkolonien
Volvox
Kolonie mit Samenzellen
Kolonie mit Eizellen
geschlechtliche Fortpflanzung
ungeschlechtliche Fortpflanzung



Links: Einige Foraminiferen bauten sich scheibenförmige Kalkgehäuse; es sind die Nummuliten. Ihr Name (von lateinisch nummus = Münze) bezieht sich auf ihr Aussehen; sie werden auch als „Münzsteine" bezeichnet. Von oben nach unten: Operculinoides, Camerina, Heterostegina.

Rechts: Kalkfelsen aus Nummuliten aus dem Gebiet von Vicenza (Italien).

Im Grunde sind also die Bakterien und die Pantoffeltierchen immer noch die ersten Lebewesen, die es auf der Erdoberfläche gab. Bei der nichtspezialisierten Vermehrung durch vollständige Teilung des Körpers und des Kerns der Zelle kann man nicht sagen, welche der beiden entstandenen Zellen die Mutter und welche die Tochter ist. Beide sind Urzellen und werden ihre „Unsterblichkeit" beibehalten, solange nicht jede Form von Leben auf der Erde ausgelöscht ist.

Der Weg der „Geselligkeit", der im Archaikum von ein paar schalen- und skelettlosen Zellen eingeschlagen wurde, die sich nach ihrer Teilung nie völlig trennten, deren Tochterzellen also miteinander verbunden blieben, führte mit der Zeit zur Aufgabenteilung unter den Zellen, zur *Zelldifferenzierung*. Es entstand das „Einzelindividuum", das seinen Artgenossen zwar ähnlich, mit ihnen jedoch nicht deckungsgleich war. Diese Entwicklung führte zur höheren Sexualität und zum Verlust der Unsterblichkeit.

Der Verlust der Unsterblichkeit war zwar ein sehr hoher Preis, doch er betrifft nur das Gesamtindividuum. Auf der anderen Seite ermöglichte er als Gegenleistung eine Aufgabenteilung innerhalb der Zellkolonie, wodurch diese sich den Wandlungen des Lebens besser anzupassen und damit die Wahrscheinlichkeit eines Unfalltodes zu verringern vermochte. Die Inkaufnahme des Todes des Einzelindividuums war der beste Weg zu einer höheren Überlebenswahrscheinlichkeit der Art.

Daher setzte sich dieses neue System durch und entwickelte sich weiter. Aus einfachen Zellkolonien wie der heutigen Eudorina entwickel-

ten sich vielzellige Individuen, ähnlich den heutigen *Volvoxkolonien,* die sich aus Tausenden bis Zehntausenden von Zellen zusammensetzen. Damit hatte die Evolution einen neuen und rascheren Weg eingeschlagen, den sie bis heute noch nicht zu Ende gegangen ist.

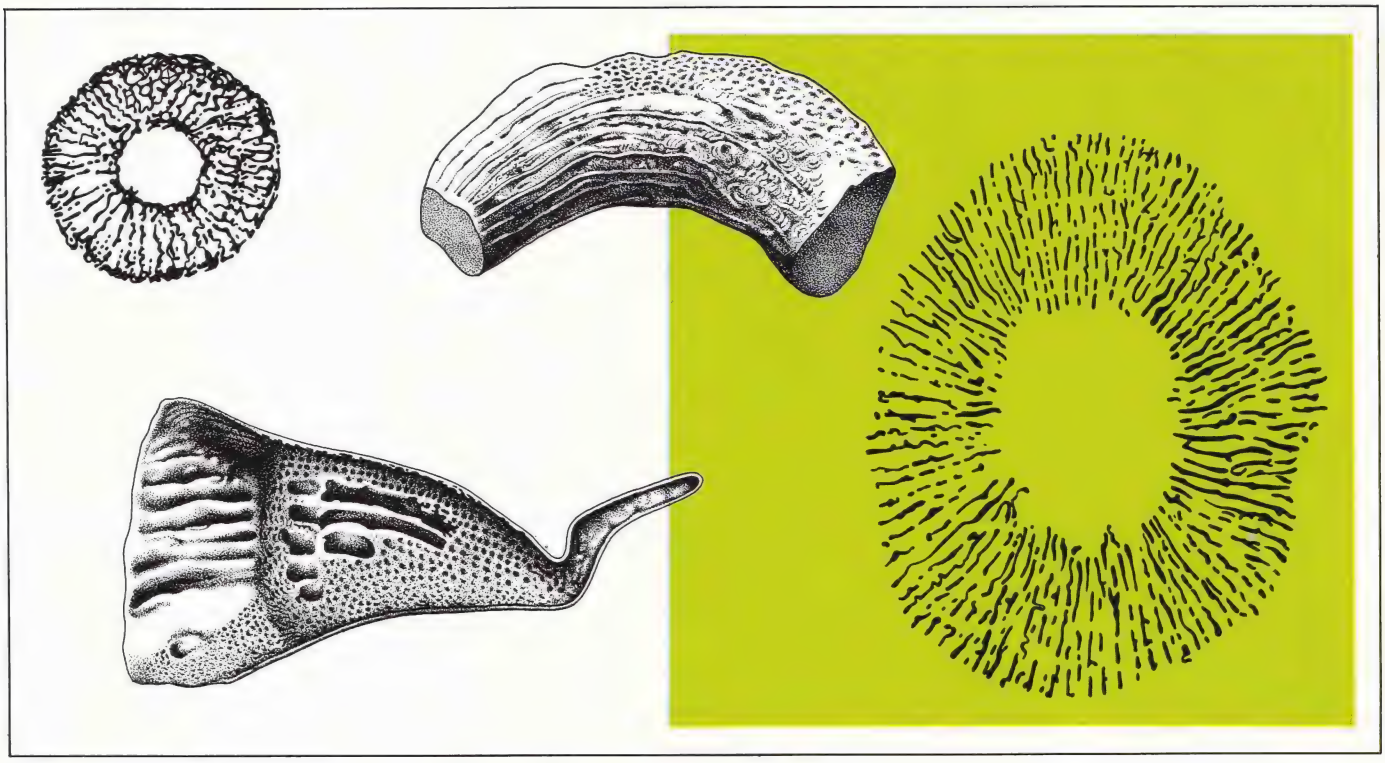
Die Foraminiferen dagegen, die während des Eozoikums in Form der bis zu 2 cm großen *Nummuliten* ihren Höhepunkt erreichten, befanden sich bereits auf dem absteigenden Ast ihrer Entwicklung.

Diese Übergänge können wir auch ohne fossile Funde rekonstruieren. Doch was dann folgt, ist zu kompliziert und möglicherweise zu vielfältig, als daß wir es mit dem Verstand nachvollziehen könnten. So wissen wir aus dieser Morgendämmerungszeit des Lebens, die wir als *Präkambrium* bezeichnen und deren Abschluß wir für die Zeit vor 570 oder 600 Millionen Jahren ansetzen, nur ganz wenig über Pflanzen; denn von ihnen existieren so gut wie keine fossilen Reste. Auch von den komplexeren tierischen Organismen, die es in dieser Epoche sicher schon gegeben hat, kennen wir nur ganz wenige aus den Spuren, die sie uns hinterlassen haben. Es ist so, als ob von einer alten Inschrift nur ein paar Buchstaben übriggeblieben seien: Wir wissen zwar, daß es noch andere Buchstaben gegeben hat, aber wir können nicht wissen, welche, und damit ist uns der Sinn der Worte verlorengegangen.

Fossile Schwämme des Kambriums mit strahlenförmiger Anordnung um eine zentrale Leibeshöhle.

Vorstufe zum Gewebe: die Schwämme

Die weiter vorn besprochenen Flagellaten kommen nicht nur als einzellige Lebewesen oder in Zellkolonien vor, sondern sie bilden auch sog. Zellverbände (mit einheitlicher Verdauungsfunktion) im Organismus der Schwämme (s. u.). Diese Zellverbände stellen eine Vorstufe zu den echten Geweben dar.

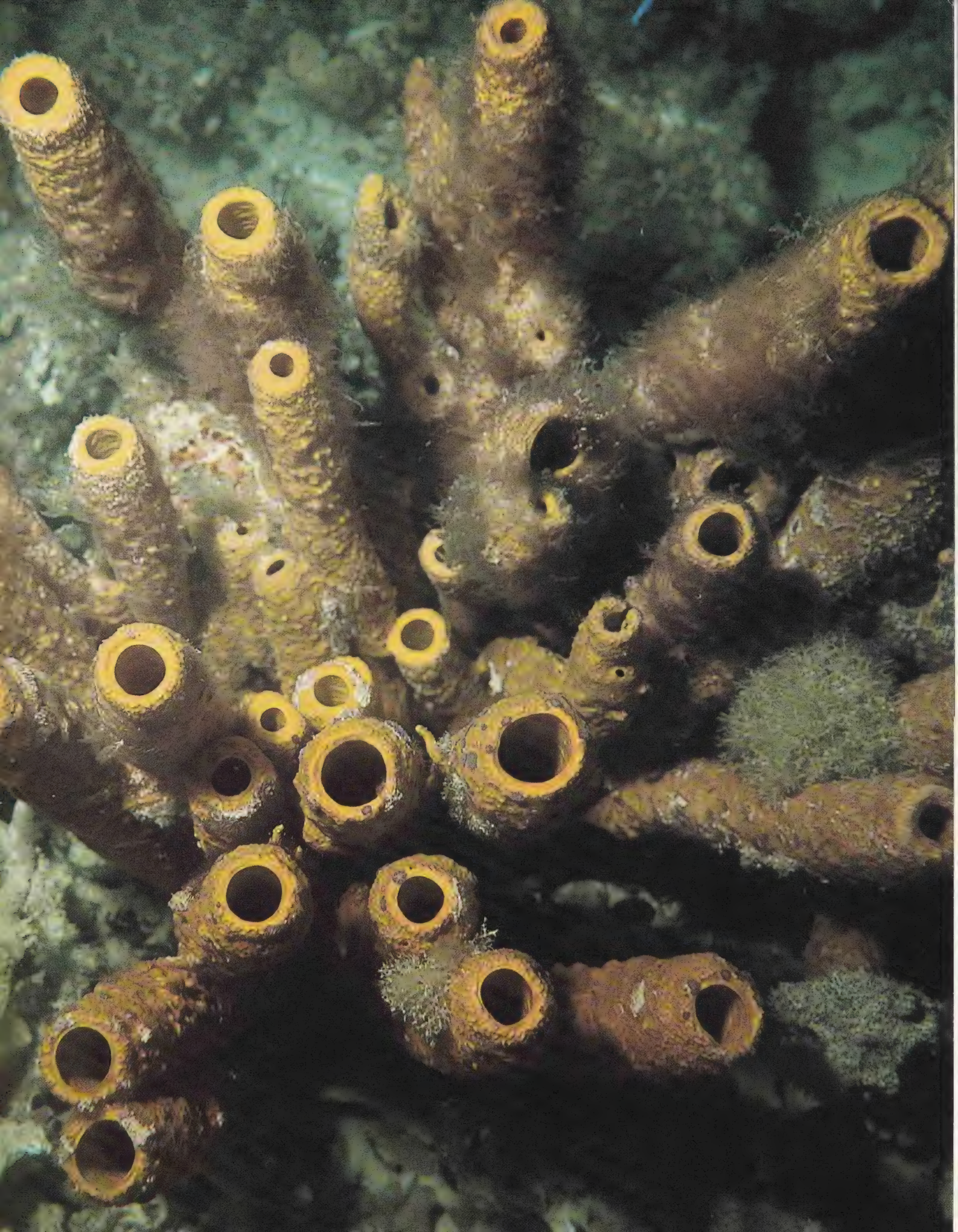


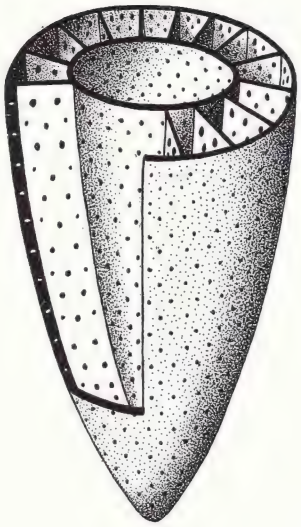
Oben: Dreierlei Bautypen von Schwämmen: von links nach rechts: der Askonschwamm, bestehend aus einem porigen Schlauch mit zentralem Hohlraum und einer oberen Ausströmöffnung; der Sykonschwamm, mit Ausbildung von Geißelkammern in der Wand; der Leukonschwamm mit Faltung der Schlauchwand zur Vergrößerung der Zahl von Kragengeißelzellen.

Rechte Seite: Heutige Schwämme auf dem Grund des Karibischen Meers.

Die *Schwämme* oder *Poriferen* gehören heute ungefähr zehntausend verschiedenen Familien an, denen allen die Grundstruktur in Form eines mit einem Ende festsitzenden Schlauchs gemeinsam ist, dessen zentraler Hohlraum eine Öffnung am oberen Ende besitzt. Die Schlauchwand ist mit Poren versehen (daher der Name „Poriferen") und kann auf recht unterschiedliche Weise gefaltet sein, was den Schwämmen ihre Formenmannigfaltigkeit verleiht.

Der Schwammorganismus besteht aus verschiedenen gewebeartigen Schichten; jedes dieser „Gewebe" setzt sich aus einheitlichen Zellen zusammen. Die Innenwände des Schlauchs sind mit *Geißelzellen* vom Typ der *Kragengeißeltierchen* (so genannt wegen eines Plasmakragens am unteren Geißelende) „tapeziert". Da auch die Kragengeißeltierchen koloniebildend sein können, wie dies bei Volvox (wenn auch nach einem anderen System) der Fall ist, nimmt man an, daß die Schwämme ursprünglich aus einer Flagellatenkolonie entstanden seien. Ein Schwamm besitzt jedoch auch noch andere Zelltypen, solche, die die





Oben: Bauplan der Archäozyathen, der ältesten schwammartigen Tiere des Kambriums. Das Kalkskelett besteht aus zwei konzentrischen, porösen Wänden. Der dazwischenliegende Raum ist durch strahlenförmig angeordnete Querwände unterteilt.

Rechts: Fossiler Kalkschwamm aus dem Kreidevorkommen Englands. Die Schwämme haben im Laufe der geologischen Zeitalter keine großen Veränderungen erfahren. Bereits vor 500 Millionen Jahren gab es Schwämme der drei Klassen, in die man auch die heutigen Poriferen einteilt: Kalkschwämme, Kieselschwämme und Hornschwämme (darunter die „Badeschwämme").

äußere Schlauchwand bilden, sowie skelettbildende, die das *Spongin* oder die Mineralsalze ausscheiden, die dem Schlauch als Innenskelett Festigkeit verleihen.

Die Kragengeißelzellen strudeln mit ihren Geißeln Nahrung herbei, verdauen sie und geben dann einen Teil der Nährsubstanz an die übrigen Zellen weiter. Wir haben also bereits einen komplexen Organismus vor uns. Doch der von den Schwämmen eingeschlagene Weg erwies sich im Laufe der Tierevolution gleichwohl als Sackgasse: Seit fast einer Milliarde Jahren wiederholen sie ihre Grundform, ohne je den Anstoß zu einer weiterführenden Entwicklung gegeben zu haben.

Die ältesten Schwammfossilien, die man in Kanada gefunden hat, sind möglicherweise 1,3 Milliarden Jahre alt. Nur selten ist der Abdruck des Schwammkörpers selbst übriggeblieben. Weit öfter sind die Skelettnadeln erhalten, die das Gewebe der Schwämme stützen, Kiesel- oder Kalknadeln, die einachsig oder auch drei- oder vierachsig vorkommen können. Meist sind sie winzig klein. Doch in Massen sich auftürmend, können sie Felsen biologischen Ursprungs bilden. So gehören z. B. die heute ausgestorbenen *Archäozyathen,* urtümliche Schwämme, deren

Heutiger Schwamm aus dem Roten Meer mit typischer Becherform.

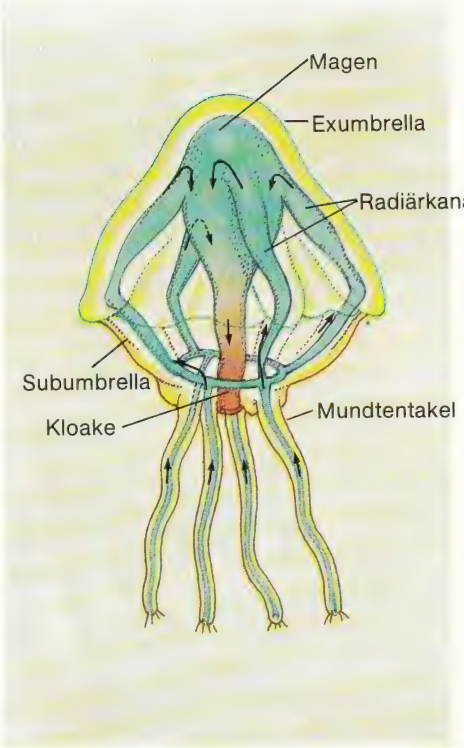
Fossilien man auch in Italien gefunden hat, zu den wichtigsten Riffbauern.

Trotz ihrer Vielfalt an Größe, Form, Farbe und Struktur bildeten die Schwämme am großen Baum der Evolution nur einen kahlen Ast, von dem keine Zweige ausgingen. Die Höherentwicklung der Arten nahm einen anderen Weg.

Dieser Behauptung liegt die allgemeine Beobachtung von Embryologen zugrunde, daß die embryonale Entwicklung eines auf einer höheren Entwicklungsstufe stehenden Lebewesens die Entwicklungsstadien der „niederen" Tiere noch einmal durchmacht. In der embryonalen Entwicklung eines Säugetieres finden wir jedoch keine Phase, die an die Schwämme erinnern würde.

Wunschlos glückliche Quallen

Bei den höheren Lebewesen gibt es dagegen frühe Entwicklungsstadien, die an Eudorina und Volvox erinnern: Das befruchtete Ei teilt sich nacheinander in zwei, vier, acht, sechzehn und zweiunddreißig Teile und schafft so eine Ansammlung kleiner Zellen, die wegen ihrer vagen

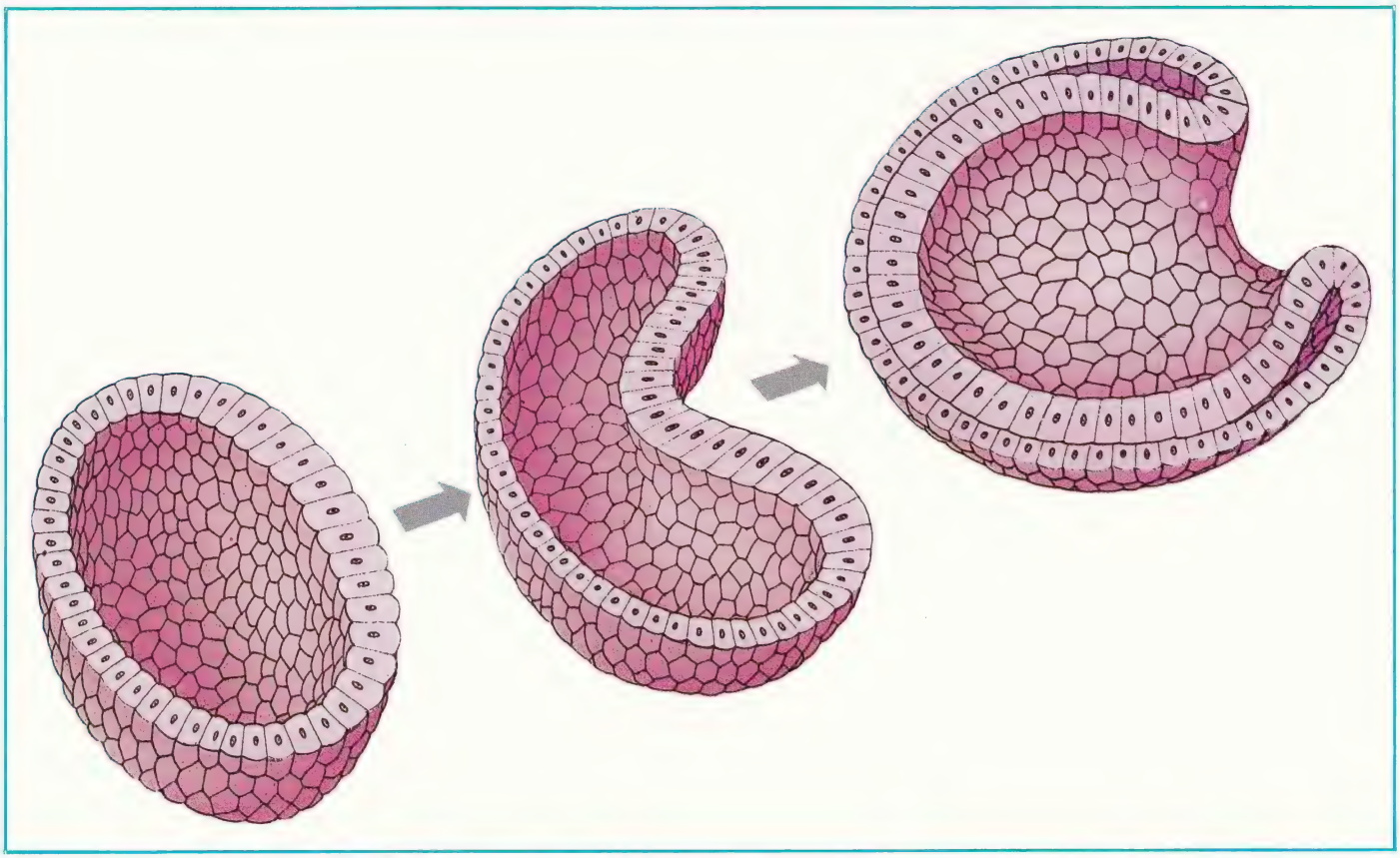


Oben: Bauplan einer Qualle des Kambriums; die Pfeile zeigen den Weg an, den die Nahrung nimmt.

Links: So ähnlich mag es in einem präkambrischen Meer ausgesehen haben: Auf dem Boden erheben sich stromatolithische Gebilde, und die ersten Schwämme verankern sich im Grund; im Wasser kreisen die Protomedusen.

Ähnlichkeit mit einer Maulbeere *Morula* genannt wird (von lateinisch morum = Maulbeere). Im Innern bildet sich Flüssigkeit, und die Morula wird zum Keimbläschen oder zur *Blastozyste.* Die Blastozyste läßt sich mit einem aufgeblasenen Gummiball vergleichen: Drückt man in diesen einen Finger, so bekommt er eine Delle und verliert durch die Einstülpung seine Kugelgestalt.

Wir kennen Tiere, die in etwa auf dieser Stufe ihrer Embryonalentwicklung haltmachen, d. h. aus einer halb aufgeblasenen Kugelgestalt ihre Grundform ableiten: Es sind dies die *Quallen,* die zu den *Hohltieren* gehören (*Coelenterata;* eine gelehrte Wortbildung zu den griechischen Wortelementen koilía = Bauchhöhle und énteron = Darm, Eingeweide;



Stadien der Embryonalentwicklung. Die Wände der Blastula, eines einfachen Bläschens ohne Verbindung nach außen, stülpen sich ein. So entsteht eine Höhle mit doppelter Wand und mit einer Verbindung nach außen; diese Höhle wird „Urdarm" genannt.

in der Tat sind diese Tiere mit einer Eingeweidehöhle versehen, die durch eine Einstülpung entsteht und wie die Fingerdelle im halb aufgeblasenen Ball bestehen bleibt). Einige Quallenschirme, besser gesagt: die Schirme der *Urquallen (Protomedusen),* haben aus dem Präkambrium ihre Spur hinterlassen, die Vertreter von *Brooksella.*

Die Qualle machte auch noch eine weitere Errungenschaft, die sie an ihre Nachkommen weitergab: Anstatt sich wie der Schwamm mit zwei Zellschichten der Körperwand zu begnügen, versah sie sich noch mit einer dritten Schicht, die zwischen der äußeren und der inneren liegt. Wir nennen diese Schicht bei der Qualle *Mesogloea.* Eine analoge Schicht könnte man im Mesoderm der Embryonen höherer Lebewesen (auch beim Menschen) sehen.

Thecosmilia trichotoma, eine fossile Koralle mit verzweigtem Stock.

Die Form der einseitig eingedrückten Kugel bot einige Vorteile: Von dem so entstandenen Schirm aus entwickelten sich Tentakel, und das Tier erlangte die Fähigkeit zu schwimmen. Schwimmend konnte es sich nun seine Nahrung suchen, die in seiner Eingeweidehöhle ohne Schwierigkeit verdaut wurde. Die *Protomeduse* des Präkambriums machte bei diesen Errungenschaften halt. Sie unterschied sich weitgehend von unseren heutigen Quallen: Ihre Tentakel waren noch nicht mit Nesselzellen versehen; denn sie hatte weder aggressive Feinde, gegen die sie sich verteidigen, noch Konkurrenten, die sie in die Flucht schlagen mußte. Die Urqualle „gondelte" in äußerster Ruhe durch die vorzeitlichen Meere und hatte deshalb wohl keinen Anlaß, sich weiterzuentwickeln.

Das Kambrium

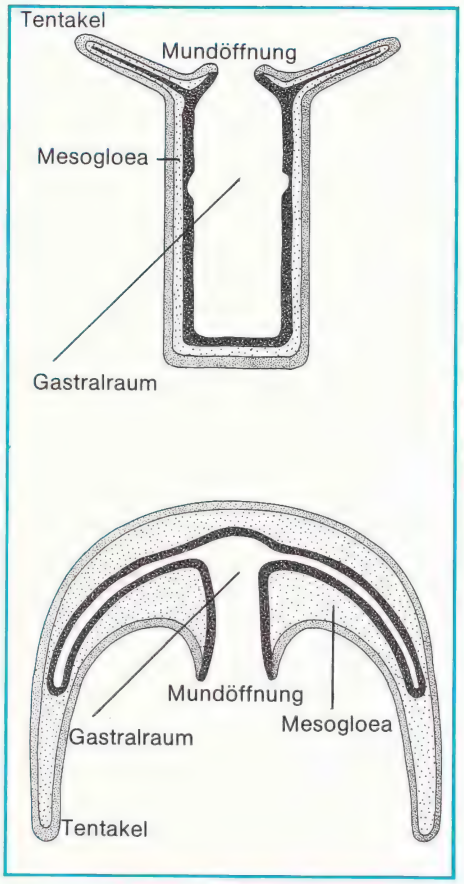
Das Mißgeschick der Medusen

Während des Kambriums widerfuhr einigen Medusen ein folgenschweres Mißgeschick: Sie kippten um, mit dem „Rücken" nach unten, und waren nicht mehr fähig zu schwimmen. Wahrscheinlich kam dies öfter vor und endete meist tödlich. In einigen Fällen mag es den betroffenen Tieren jedoch gelungen sein, den „Unfall" zu überleben. Auf das Schwimmen konnten sie notfalls verzichten, wenn es ihnen nur gelang, mit den Tentakeln weit genug auszugreifen, um sich Nahrung zu verschaffen. So lernten die Medusen allmählich, mit umgekehrtem Schirm zu leben, wobei sie ihre Form, nicht jedoch ihren Körperbau etwas veränderten. Mit anderen Worten: Die Medusen begannen wie Polypen zu leben.

Die Hohltiere, die wir heute kennen, gehören fast alle zu den Stämmen der Hydrozoen und der Skyphozoen. Beide hat es bereits im Kambrium gegeben. Die *Hydrozoen* stellten sich auf die seßhafte Polypenform ein, die *Skyphozoen* auf die Form der frei umherschwimmenden Quallen. Diese Entscheidung war jedoch nicht ganz so eindeutig. Denn die zu den Hydrozoen gehörenden *Staatsquallen* z. B. sind sehr wohl freischwimmend. Sie bilden darüber hinaus Kolonien, in denen die Funktionen aufgeteilt sind: So gibt es mit Nesselzellen bewaffnete sog. *Wehrpolypen,* die sich um die Verteidigung kümmern. Es gibt ferner sog. *Nährpolypen,* denen die Verarbeitung der Nahrung zukommt: Durch rhythmisches Pulsieren bewirken sie eine Zirkulation der Nährstoffe und damit eine Verteilung an die übrigen Organismen der Kolonie. Andere Polypen schließlich sind mit der Fortpflanzung beauftragt (sog. *Geschlechtspolypen*): Sie bilden kleine Knospen, die sich zu winzigen Quallen entwickeln. Diese schwimmen dann fort, um an anderen Plätzen neue Kolonien zu bilden.

Wenn man sich vorstellt, daß vielen Medusen das Mißgeschick passierte umzustürzen, so daß sie nicht mehr schwimmen konnten und auf den Gewässergrund absanken, so kann man sich denken, daß diese Tiere eine neue Form der Ernährung ausbilden mußten, um zu überleben.

Bei den *Hydrozoen* wechseln sich Polypen- und Quallenform ab. Der *Qualle* kommt die Aufgabe des Ortswechsels zu; sie ist komplizierter gebaut als der Polyp. Den Rand ihres Schirms umgibt ein muskulöser Saum, der sich – gesteuert durch Nervenzellen – rhythmisch zusammenzieht und damit die Qualle vorantreibt. Auf dem Schirmrand der Quallen sind lichtempfindliche Zellen lokalisiert, die positive (zum Licht



Links: Baupläne der seßhaften Polypen (oben) und der freischwimmenden Quallen (unten). Man sieht, daß die Grundstruktur im wesentlichen die gleiche ist.

Rechts: Halocordyle distica, ein rezenter Polyp.

hin) oder negative (vom Licht weg) Orientierungsbewegungen ermöglichen.

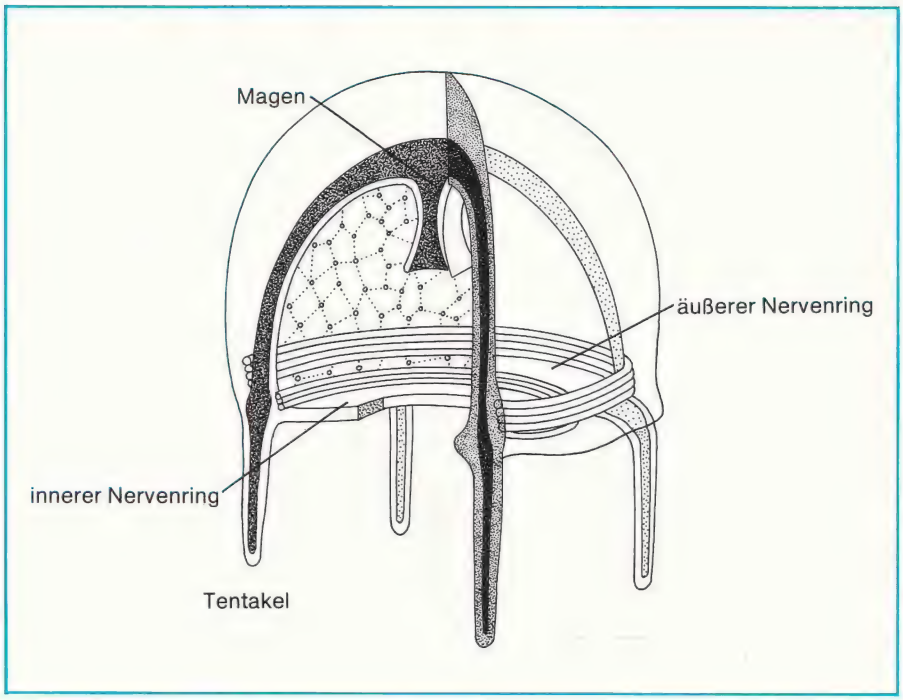
Das Risiko umzukippen, wie die urtümlichen Medusen, vermeiden die winzigen Medusen der Hydrozoen dank eines Gleichgewichtsorgans in Form eines Körnchen aus Kalksalzen enthaltenden kleinen Bläschens, der sog. *Statozyste.* Die Salzkörnchen (Statolithen) sind mit den Borsten an der inneren Zellwand der Statozyste verbunden. Auf jede Neigung antworten die Statolithen mit einem Zug an den Härchen. Dadurch „begreift" das Tier, daß es sich nicht mehr im Gleichgewicht befindet. Die über die „Nervenzellen" aufgenommene Information löst nun eine Reflexbewegung aus, durch die sich die Muskeln so zusammenziehen, daß das Gleichgewicht wiederhergestellt wird.

Diese Fähigkeit, die Balance zu halten, ist wesentlich für die

Die Leuchtqualle, die im Mittelmeer reichlich vertreten ist und bei Reizung ein Licht ausstrahlt. Die Leuchtquallen entwickeln sich direkt aus den Eiern, überspringen also die festsitzende Polypengeneration. Sie sind die einzigen Quallen, die auf hoher See treiben.

Fortbewegung der Hydrozoen; die seßhaften Formen, wie die Polypen, besitzen sie nicht. Wir können also die Hydrozoen als Polypen definieren, die während der kurzen Dauer ihrer Fortpflanzungsphase – wenn das neue Individuum sich einen Platz zur Niederlassung suchen muß – die Form kleiner Medusen annehmen.

Die *Skyphozoen* oder Quallen haben den entgegengesetzten Weg eingeschlagen: Diese großen *Medusen* (maximal bis 1 m im Durchmesser) nehmen während eines kurzen Larvenstadiums die Form kleiner Polypen an. Ihr Nervensystem ist höher entwickelt als das der Hydrozoen; denn auf Grund ihrer Ausmaße mußten sie ein Verbindungssystem zwischen den Nervenzellen entwickeln, die sog. „Synapsen", die auch im Nervensystem der höheren Tiere vorkommen. Es fehlt ihnen jedoch noch ein „Nervenzentrum" und ein „Verbindungsnetz". Die Augen der



Rechts: Das Nervensystem einer heutigen Qualle. Die Nervenzellen sind zu zwei Ringen am Schirmrand zusammengefaßt und durch Nervenfasern verbunden, die mit den Tentakeln, der Muskulatur und den Sinnesorganen in Verbindung stehen.

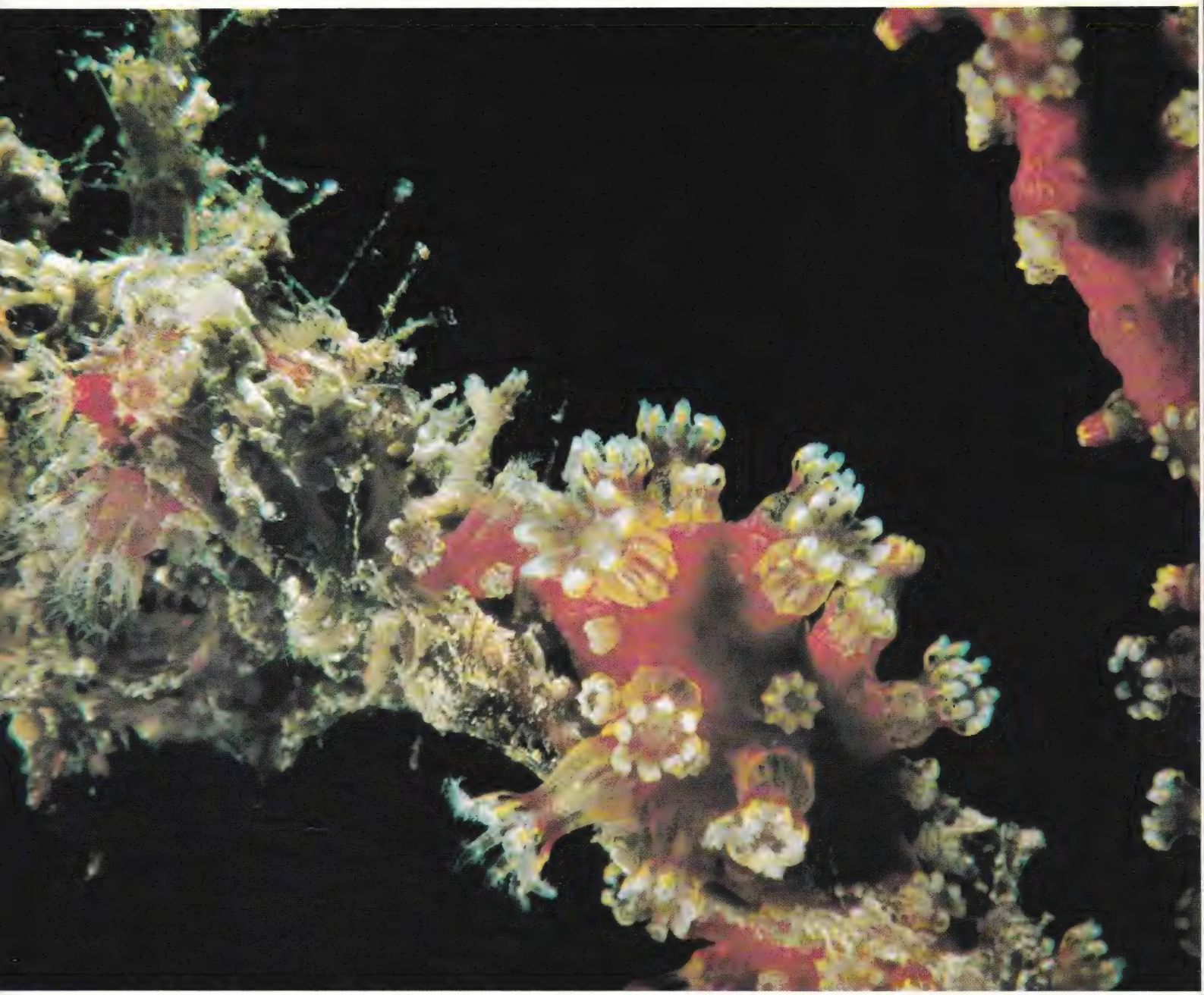
Rechte Seite: Polypen einer Hornkoralle, die auf den tropischen Meeresgründen lebt.

Skyphozoen bestehen nicht nur aus Verdichtungen lichtempfindlicher Zellen wie bei den Hydrozoen, sondern sie besitzen bereits eine Linse, in der die Lichtstrahlen konvergieren, und eine richtige Netzhaut aus empfindlichen Zellen.

Die Qualle bildet an ihrem Mundstiel Eier und Samenzellen aus. Die befruchteten Eier entwickeln sich am Körper des Elternindividuums bis zum Stadium der eingedrückten Kugel (Blastula); dann fallen sie ab und schwimmen frei weiter. Sobald sie auf Grund stoßen, setzen sie sich wie kleine Polypen fest. Es vergeht dann einige Zeit (bis zu einem Jahr), bis sie sich zu Quallen entwickeln.

Die einander entgegengesetzten Entwicklungszyklen der Hydrozoen und der Skyphozoen scheinen einem Prinzip zu gehorchen, das man als „Wirtschaftlichkeit im Reisen" bezeichnen könnte: Reisen ja, aber nur soweit, bis man den geeigneten Platz für eine Niederlassung gefunden hat. Man reist daher entweder als Erwachsener und ist im Jugendstadium seßhaft, oder man reist im Jugendstadium und ist als Erwachsener seßhaft. In beiden Stadien zu reisen ist unnötig. Diejenigen Organismen, die erst im Erwachsenenstadium mit der Fortbewegung beginnen, wenn ihre Körperformen größere Dimensionen erreicht haben, besitzen ein höher entwickeltes Nervensystem und sind mit besseren Sinnesorganen ausgestattet.

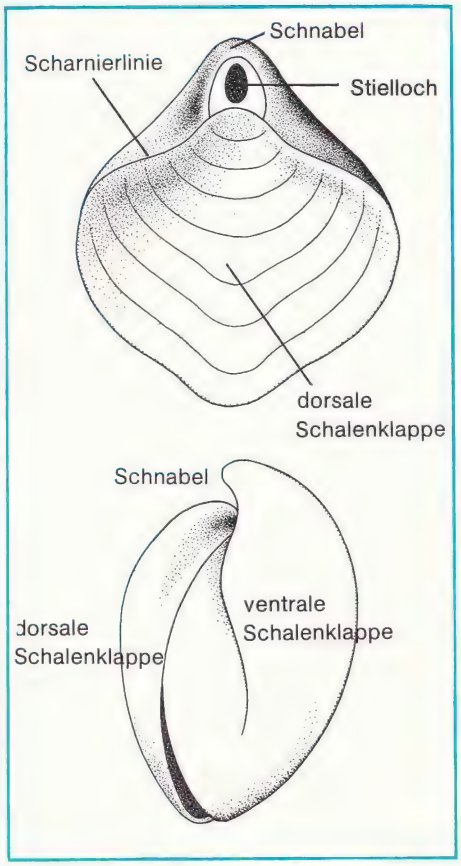
Wir wissen nicht, ob die Medusen und Polypen des Kambriums bereits so komplex gebaut waren wie ihre heutigen Nachfahren. Aus ihren Fossilien erfahren wir nur, daß es bereits im Kambrium die Wahl des Reisealters gegeben hat, d. h., daß sich die Hydrozoen schon damals von den Skyphozoen unterschieden haben. Doch die Hydrozoen des Kambriums besaßen noch nicht die Fähigkeit, Kalkgerüste auszubilden, wie wir sie beispielsweise bei den farbenprächtigen Korallen bewundern können.

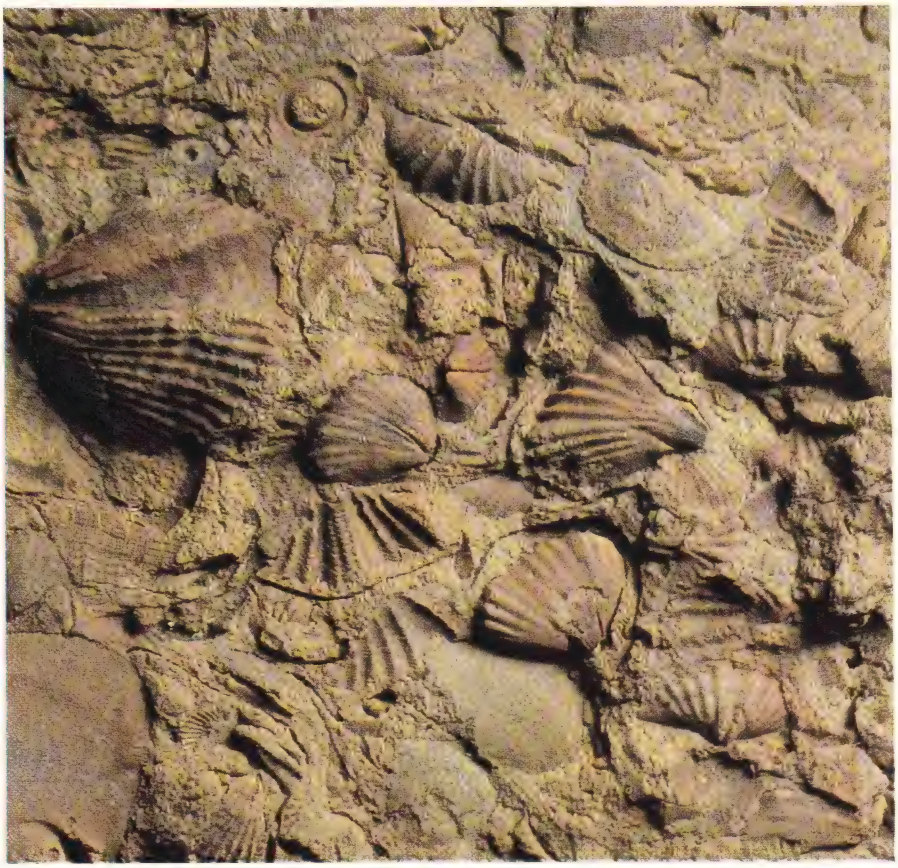


Die Erfindung der Muschelschalen: die Armfüßer

Ein Tier, das es während des gesamten Kambriums gegeben hat und das ohne sichtliche Wandlungen bis heute weiterexistiert, ist *Lingula,* ein Armfüßer ohne Schalenschloß, der sich in den Sandboden eingräbt. Die *Armfüßer* oder *Brachiopoden* machten im Kambrium eine große Entwicklung durch, die sie in den folgenden Zeitaltern eine Artenzahl von über 7 000 erreichen ließ. Heute kennen wir nur noch ca. 260 Arten.

Auf welchem Weg der Evolution die Armfüßer entstanden sind, wissen wir nicht, aber ihr früherer Artenreichtum wird durch eine große Anzahl von Fossilien bezeugt. Das Vorhandensein dieser Fossilien verdanken wir der Tatsache, daß es sich um Tiere handelt, die mit einer





Oben links: Front- und Seitenansicht eines Armfüßers mit Schalenschloß.

Oben rechts: Fossile Armfüßer mit Schalenschloß aus dem Devon, gefunden bei Koblenz. Die artenreichen Armfüßer bewohnen heute sämtliche Meere, vorzugsweise die warmen. In den vergangenen Epochen war ihr Artenreichtum noch wesentlich größer. Ihre fossilen Reste dienen den Paläontologen als Leitfossilien.

harten Schale versehen waren. Durch die Form ihrer Schale kann man sie leicht mit den Muscheln verwechseln, doch gibt es ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal: Die Schalen der Armfüßer bestehen aus einer Bauch- und einer Rückenklappe und nicht aus zwei Seitenschalen. Die Bauchschale (also die untere) ist stärker gewölbt als die Rückenschale und an ihrem hinteren Ende zu einem „Schnabel" hochgebogen, der manchmal eine Öffnung enthält: Sie sieht ähnlich aus wie eine antike Öllampe.

Nicht alle Arten folgen jedoch diesem allgemeinen Bauplan. Bei Lingula zum Beispiel wie bei anderen Brachiopoden, die sich in den Boden eingraben, sind die Schalenklappen stärker abgeflacht. Sie ragen ein wenig aus dem Boden hervor, um vorbeischwimmende Nahrung einzufangen; bei der geringsten Störung ziehen sie sich zurück. Diese rasche Bewegung kommt durch die Zusammenziehung des Stiels zustande, eines nach unten gerichteten zylindrischen Körperanhangs, mit dem sich das Tier in den Sand bohrt.

In ihrem hinteren Teil werden die beiden Schalen entweder durch ein Scharnier bewegt (Armfüßer mit Schalenschloß) oder durch Schließmuskeln zusammengehalten (Armfüßer ohne Schalenschloß). Im Kambrium existierten bereits beide Arten. Die Scharnierbewegung kommt durch ineinandergreifende Zähnchen und Zahngruben zustande. Sie erlaubt nur eine geringe Öffnung der Klappen.

Rechte Seite: In den Meeren des Kambriums erscheinen die ersten Armfüßer zwischen Algen und Schwämmen.

Der Armfüßer (so genannt wegen seiner armähnlichen, bewimperten Tentakel) weist eine strukturelle Eigenheit auf, die ihn von den

Terebratulina septentrionalis, ein Armfüßer mit Schalenschloß, der heute an den Küsten New Englands, Norwegens und Schottlands lebt.

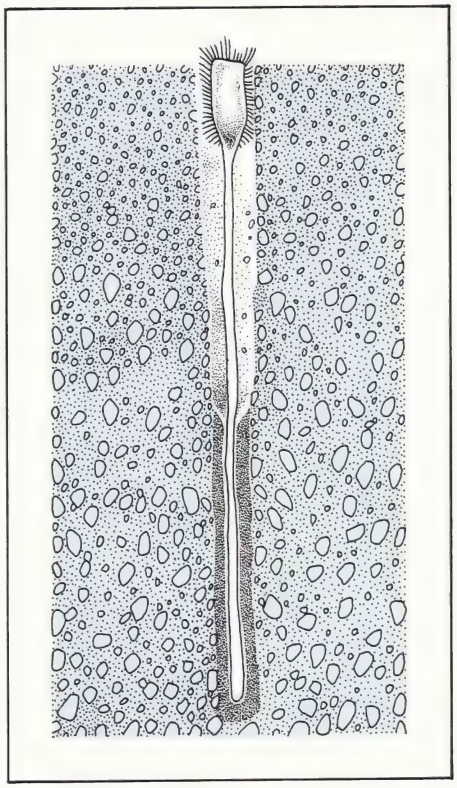
Hohltieren unterscheidet und die er mit den höheren Lebewesen gemeinsam hat: eine *sekundäre Leibeshöhle (Zölom).* Jeder kennt die menschliche Anatomie so weit, um zu wissen, daß die Eingeweide vom Bauchfell umgeben sind. Das Bauchfell umschließt die Leibeshöhle, die bis auf wenige Reste (mit Flüssigkeit erfüllte Spalträume) von den Eingeweiden ausgefüllt wird. Die Hohltiere besitzen nur eine einzige Leibeshöhle, die Armfüßer jedoch besitzen noch eine zweite, das Zölom, das die Eingeweidehöhle umhüllt. Diese sekundäre Leibeshöhle liegt zwischen den Falten eines Gewebemantels, der auch die Innenwände der Schalen auskleidet und eine Flüssigkeit absondert. Das Zölom umhüllt die Eingeweide und schützt sie (bei anderen Tieren kommen ihm andere Aufgaben zu). Der eigentliche Körper des Tiers befindet sich im hinteren Teil der Muschel, während im vorderen der Raum zwischen den Falten des Mantels von den mit zahlreichen Wimpern besetzten „Armen" ausgefüllt wird, die kranzförmig um die Mundöffnung angeordnet sind und aus der Schale herausragen, um die Nahrung herbeizustrudeln.

Der Verdauungskanal der Armfüßer besteht außer aus dem Mund, der Speiseröhre und dem Magen aus einem Darm, der bei den Armfüßern mit Schalenschloß blind endet, bei den Armfüßern ohne Schalenschloß dagegen sich nach hinten öffnen kann. Hieraus ergibt sich die Notwen-

digkeit, das der Nahrung dienende Wasser nicht zu verunreinigen, die Abfälle also von der Nahrung getrennt zu halten. So entwickelten diese Lebewesen die Fähigkeit, stickstoffhaltige Abfälle über zwei nierenähnliche Organe zwischen den Falten des Mantels, die *Metanephridien,* auszuscheiden. Der Mantel stellt eine mechanische Barriere zur Umwelt dar, und die Metanephridien erfüllen eine chemische Schutzfunktion: Beide zusammen, Mantel und Metanephridien, sorgen dafür, daß im Inneren der Gewebe und des Verdauungstrakts ein von äußeren Verunreinigungen sauberes Milieu herrscht. Auch die hintere Öffnung des Verdauungskanals trägt zu dieser notwendigen „Reinlichkeit" bei.

Diese Reinlichkeitserfordernisse schufen auf der anderen Seite für die Brachiopoden schwierige Probleme: Wie sollten bei diesem Schutzmechanismus die Nährsubstanzen und der Sauerstoff auf sämtliche Zellen verteilt werden? Allem Anschein nach existiert im Mantel ein System winziger Kanäle, durch die eine sauerstoffreiche Flüssigkeit fließt. Der Sauerstoff wird von einem Pigment transportiert. Die Zirkulation der Nährsubstanzen wird durch ein einfaches Blutgefäßsystem mit einer kontraktilen Blase (einem „Herzen") unterstützt. Der Organismus der Brachiopoden löst also das Problem, sich vor der „Verschmutzung" zu schützen, die er selbst in dem ihn umgegenden Lebensraum verursacht, indem er seine Zellen differenziert in solche, die in Kontakt mit der Außenwelt stehen, und in solche, die als „innerer Lebensbereich" (Herz, Gefäße) von den widrigen Umweltbedingungen abgeschirmt sein müssen.

Einer der ältesten Armfüßer ist *Lingulella* (Fossilfunde aus dem USA-Staat Montana), der bereits im Präkambrium existierte und dessen Alter auf rund 800 Millionen Jahre geschätzt wird. Die spätere üppige Entwicklung der Brachiopoden wird nicht nur durch die wachsende Individuen- und Artenzahl bestätigt, sondern auch durch die zunehmende Größe der einzelnen Exemplare, die einen Durchmesser von bis zu 30 cm erreichten.



Der primitive Armfüßer Lingula besitzt einen langen, dünnen und biegsamen Stiel, mit dem er sich tief in den Sandboden eingräbt. Wenn das Tier Nahrung zu sich nimmt, schauen die oberen Ränder der Schalen über den Rand des Sandlochs hinaus.

Die Erfindung der Pfeilstruktur: die Ringelwürmer

Die Armfüßer sitzen am Meeresgrund fest. Die Quallen können sich zwar vertikal (von oben nach unten und umgekehrt) fortbewegen, hinsichtlich Horizontalbewegungen sind sie jedoch von günstigen Strömungen abhängig. Die Fähigkeit, ihre Bewegungsrichtung selbst zu bestimmen und sich horizontal fortzubewegen, die bei einzelligen Lebewesen bereits vorhanden war, erlangten die vielzelligen Lebewesen erst wieder, als sie anfingen, langgestreckte, pfeilförmige Geschöpfe hervorzubringen: die Würmer.

Über die Geschichte der urzeitlichen *Würmer* wissen wir wenig, da es sich dabei ja um Lebewesen handelt, die fast ausschließlich aus weichem Gewebe bestehen. Die ältesten Abdrücke, die Würmer im Sand hinterlassen haben, oder die Löcher, die sie sich als Unterschlupf gruben, gehen gleichwohl auf das Kambrium, manchmal sogar auf das Präkambrium zurück. Es handelt sich meist um Ringelwürmer (Anneliden) aus der Klasse der Vielborster, die sich von ihren heutigen Nachfahren nicht wesentlich zu unterscheiden scheinen.

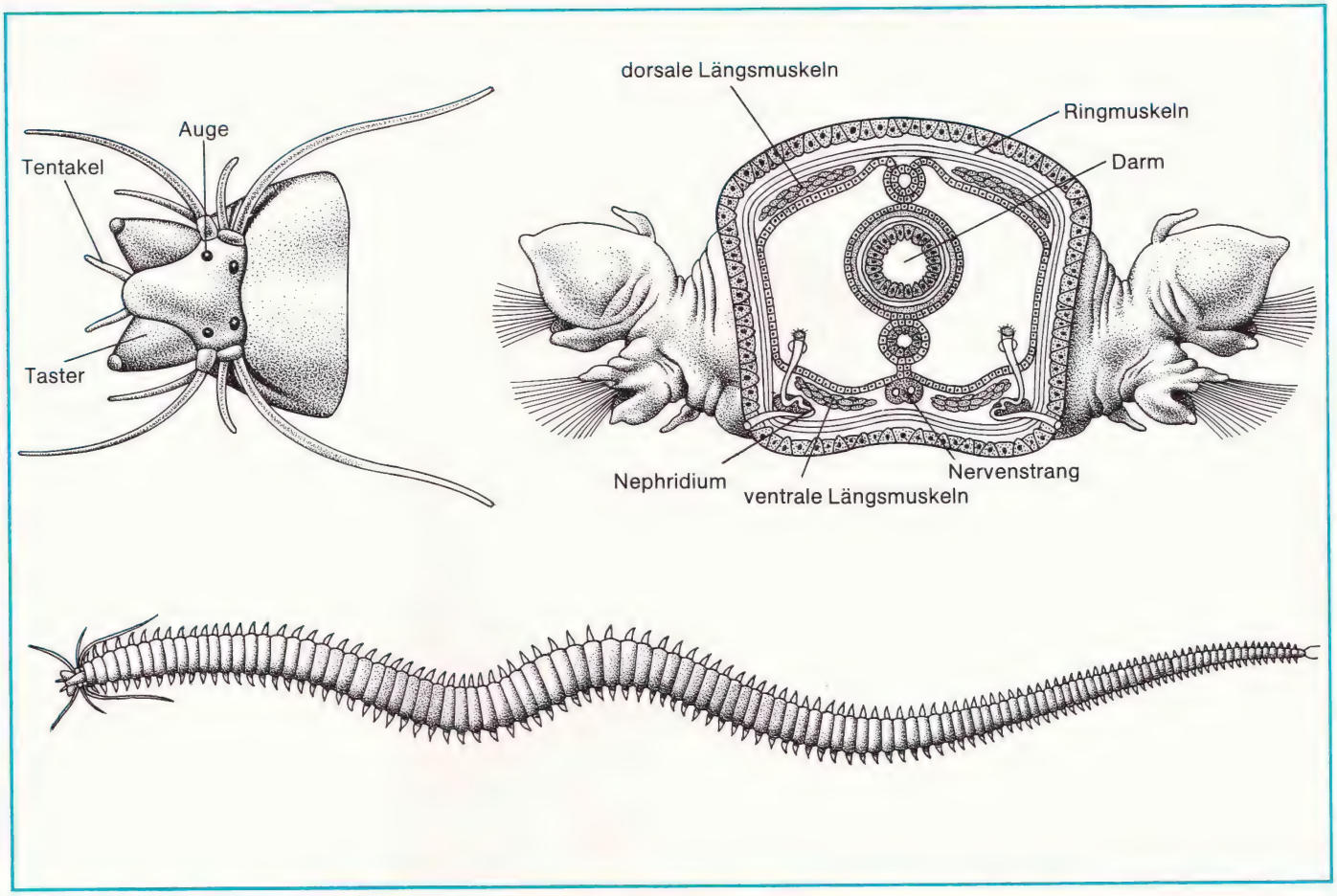
Ringelwürmer (Anneliden) haben eine langgestreckte Form. Ihre Eingeweide sind eingebettet in ein Zölom und mit diesem in hintereinander angeordnete Segmente *(Metameren)* untergliedert. Die innere Segmentierung entspricht der äußeren Ringelung. Auch Wirbeltiere

Fossile Wohnhöhlen von Serpula, einem festsitzenden Ringelwurm der Unterkreide (Deutschland). Die fossilen Reste der „Würmer" lassen sich schwer klassifizieren (es bleiben keine Weichteile übrig). Es gibt jedoch zahlreiche Fossilien, vor allem in Form von Abdrücken oder in Sand oder Schlamm gegrabenen Löchern, die bis auf das Präkambrium zurückgehen.

können eine metamere Struktur haben. Man braucht sich nur die Gräten eines Fischs anzusehen, um das zu erkennen. Dennoch läßt sich die Metamerie der Wirbeltiere nicht aus der Metamerie der Ringelwürmer herleiten. Die „Erfindung" wurde (unabhängig voneinander) zweimal gemacht, wahrscheinlich auf Grund von Umweltbedingungen, denen anders nicht zu begegnen war.

Die Notwendigkeit zu erkennen, „wo es lang geht", hat zur Entwicklung von Sinnesorganen am vorderen Teil des Körpers geführt. Das gilt für die Fische wie für die Anneliden, die daher am Kopf Augen, Tentakel und Tastorgane aufweisen. Diese Grundstruktur erfuhr bei denjenigen Ringelwürmern eine Änderung, die ihren ursprünglichen Lebensraum, das Meer, verließen. Bei ihnen gehen von jedem Körpersegment seitlich sogenannte *Parapodien* ab, eine Art von „Füßchen", die meist in Borstenbüscheln enden. Diese Körperanhänge werden mit Hilfe eines kräftigen Muskelapparats und eines geeigneten Nervensystems, das die Kontraktion der Muskeln koordiniert, für die Fortbewegung genutzt. Die Kontraktionswellen durchlaufen den Körper des Ringelwurms von vorn nach hinten, wobei sie sich auf die Parapodien als feste Punkte stützen (also eine ganz andere Art zu „gehen", als es bei den Landwirbeltieren der Fall ist).

Es gibt Ringelwürmer, die schwimmen, und solche, die sich auf dem Meeresgrund oder an Land durch den Erdboden graben. Bei diesen



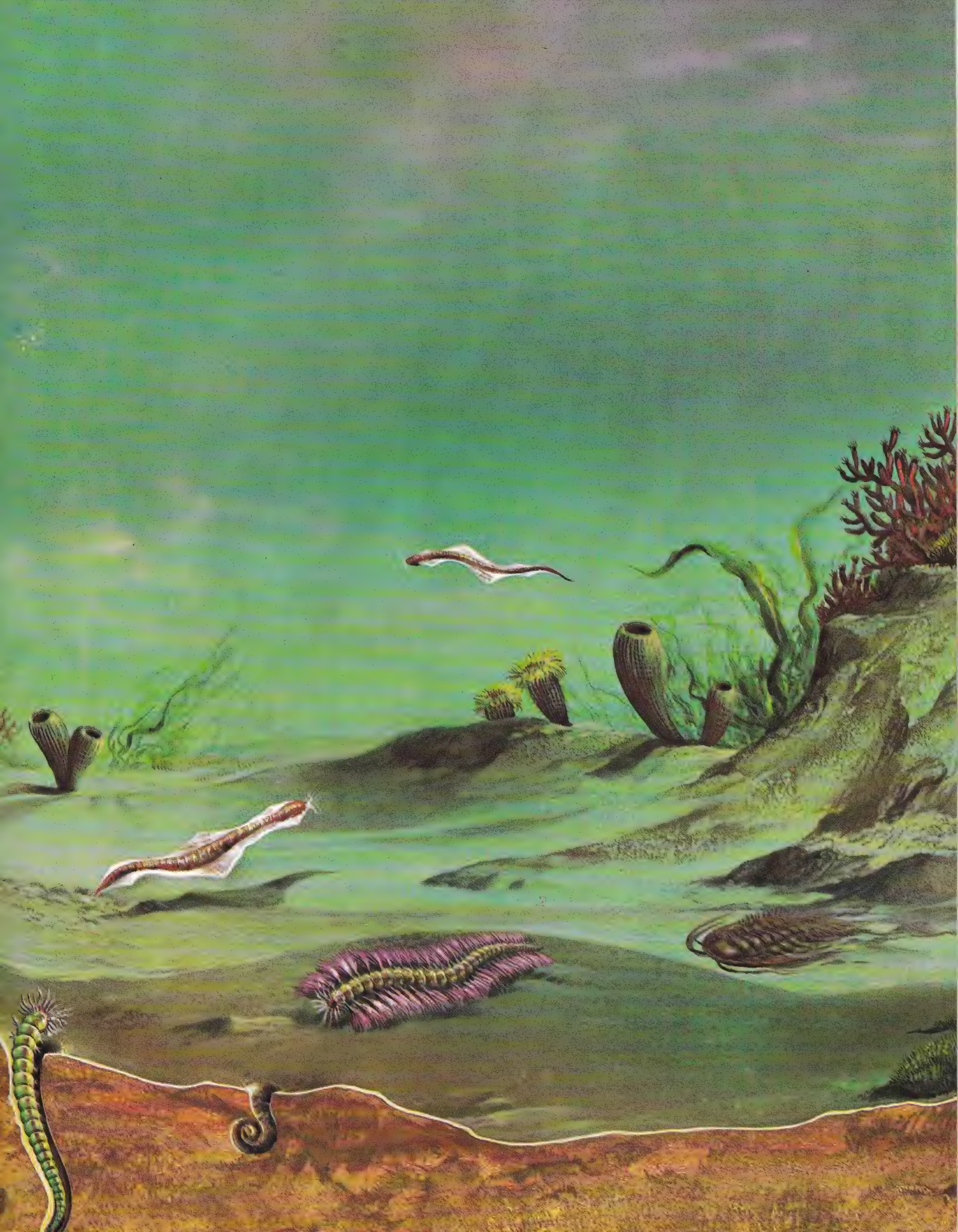
Der heutige Seeringelwurm (Nereis). Links oben der Kopf, daneben ein Körpersegment. Der Bauplan der heutigen Anneliden unterscheidet sich nicht sehr von dem der Urringelwürmer.

letzteren übernimmt die sekundäre Leibeshöhle eine wichtige Funktion, da die in ihr enthaltene Flüssigkeit einem Druck ausgesetzt ist und dadurch dem Körper Festigkeit verleiht: Sie wird zu einer Art flüssigem Skelett (etwas Ähnliches ermöglicht bei den höheren Wirbeltieren die für die Begattung notwendige Erektion des Penis).

Einige Ringelwürmer geben die Möglichkeit des freien Umherstreifens auf und bauen sich Wohnröhren aus Sandkörnern, die sie mit Körpersekreten verkleben. Aus dem oberen Ende der Wohnröhre schaut dann eine fächerförmige Tentakelkrone hervor. Auch hier dienen die langen und beweglichen Tentakel dem Herbeistrudeln der Nahrung. Für diese festsitzenden oder *sessilen Ringelwürmer* stellt sich ebenfalls das Problem der „Umweltverschmutzung" durch die eigenen Ausscheidungen. Sie lösen es, indem sie aus der Röhre schlüpfen, um ihren Darm zu entleeren.

Der Annelidenkörper beherbergt ein hochentwickeltes Blutgefäßsystem. Der gesamte Gefäßapparat ist kontraktil; daher fehlt ein eigentliches Herz (man kann auch von „Segmentherzen" für jedes einzelne Metamer sprechen). Das Pigment, das den Sauerstoff im Blut transportiert, ist das Hämoglobin wie bei den höheren Lebewesen. Die Augen verfügen über ein Netzwerk lichtempfindlicher Zellen, ähnlich den Stäbchen in der Netzhaut der höheren Tiere. Die nierenähnlichen Ausscheidungsorgane, die Metanephridien, öffnen sich nach außen und

Auf den kambrischen Meeresgründen tauchen die Ringelwürmer auf. Einige bewegen sich frei über dem Boden, andere bauen sich Röhren in den Sand und ziehen eine seßhafte Lebensweise vor. Bereits damals haben sich die beiden Ordnungen Errantia (die freibeweglichen Arten) und Sedentaria (festsitzende Arten) herausgebildet.



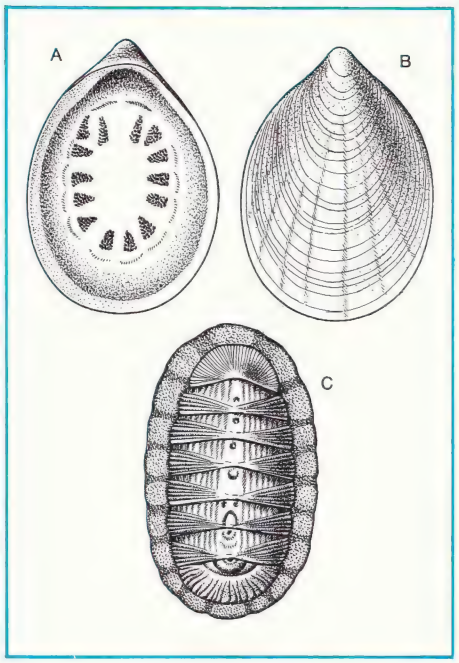
scheiden bei wasserbewohnenden Arten Ammoniak aus, das im Wasser gelöst wird. Dadurch werden die inneren Gewebe geschützt, und die Ammoniaklösung, der die äußeren Gewebe ausgesetzt sind, wird so stark verdünnt, daß sie nicht mehr schädlich ist.

Die *Vermehrung der Ringelwürmer* erfolgt meist auf geschlechtlichem Weg: Die Spermien eines männlichen Individuums befruchten die Eier eines weiblichen Individuums. Im Vergleich zur Selbstbefruchtung der Qualle handelt es sich also um eine höhere Form der Sexualität, die eine größere Auswahl an Erbfaktoren ermöglicht. Da die Anneliden oft im Wasser leben, erfolgt die Befruchtung dort, und zwar ohne direkten Kontakt der einzelnen Organismen untereinander. Die Geschlechtssegmente können sich vom übrigen Körper lösen und treffen außerhalb des Körpers zusammen. Man nennt dieses Phänomen „Ausschwärmen".

Der Mechanismus, der das Ausschwärmen der Geschlechtssegmente genau aufeinander abstimmt, ist noch nicht bekannt. Offensichtlich hängt er mit den Mondphasen zusammen, jedoch nicht in der Art, daß die Tiere etwa einfach nur auf die größere oder geringere Lichtintensität des Mondes reagieren würden. Der grüne *Palolowurm* aus Westindien schwärmt im Juli zwischen dem ersten und dem dritten Viertel des Mondzyklus, zwischen drei und vier Uhr morgens, aus, der samoanische Palolowurm dagegen von Oktober bis November zu Beginn des letzten Mondviertels.

Die Weibchen anderer Ringelwürmer führen regelrechte Hochzeitstänze auf, um die Männchen zu den Eiern zu locken. Natürlich wissen wir nicht, ob die Ringelwürmer bereits im Kambrium so differenziert waren wie ihre rezenten Vertreter. Die gefundenen Fossilien stammen von festsitzenden Anneliden, den Röhrenbauern (die sich leichter als Fossilien erhalten), und nicht von Urringelwürmern. Nichts hindert uns also daran anzunehmen, daß auch der Mond des Kambriums die Hochzeitstänze der Ringelwürmer und ihr geheimnisvoll aufeinander abgestimmtes Ausschwärmen beschienen hat.

Viele Abkömmlinge der marinen Ringelwürmer zogen später aufs Festland. Ihre bekanntesten Vertreter sind heute die nützlichen *Regenwürmer,* die, so unscheinbar sie sind, ihren Lebensraum radikal verändern können, indem sie unermüdlich wühlen und die Erdschollen bis in die Tiefe umgraben. Andere weitverbreitete, jedoch weniger beliebte Anneliden sind die *Blutegel.*



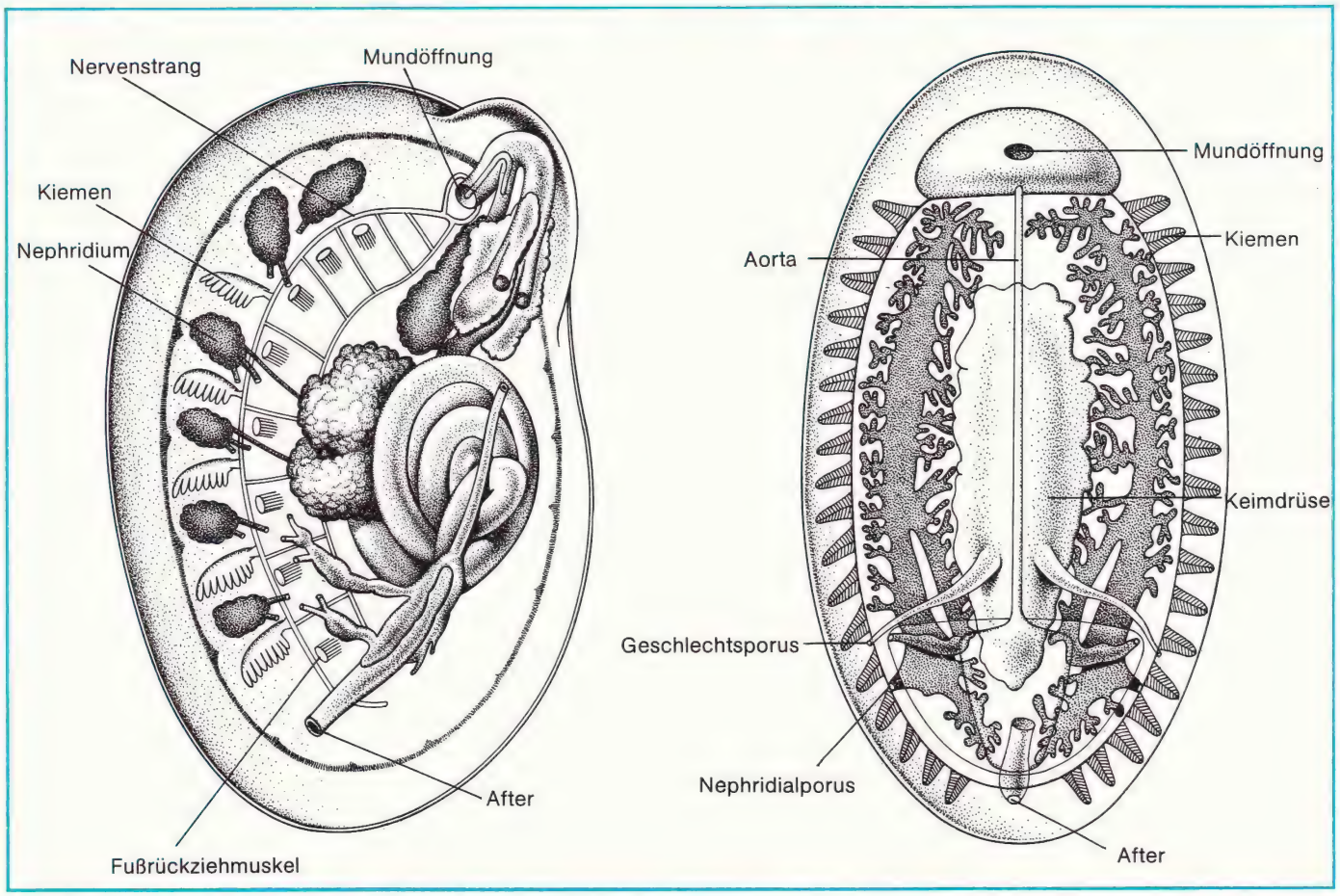
Oben: Inneres (mit Muskelabdrücken) und Äußeres einer Pilinaschale (A–B); Rücken einer Käferschnecke (C).

Käferschnecke und Pilina: der Ursprung der Weichtiere

In den Meeren des Kambriums lebte ein Tier, das unserer heutigen Käferschnecke ähnlich war. Die *Käferschnecke* ist aus mehreren Gründen interessant: Von ihrem anatomischen Bau her gesehen, scheint sie die Ringelwürmer (Anneliden) mit den Weichtieren (Mollusken) zu verbinden, zwei Stämme also, die scheinbar nichts miteinander gemeinsam haben, die in früheren Zeiten jedoch sicher manche Ähnlichkeiten aufwiesen. Die Käferschnecke hat wie die Weichtiere eine Schale, ist jedoch wie die Anneliden in Segmente unterteilt; vor allem aber zeigt sie einen zweiseitig-symmetrischen Körperbau.

Noch interessanter ist ihre Fortpflanzung: Anstatt die in ihrem Körper befruchteten Eier einfach ins Wasser abzustoßen, hält die heutige Käferschnecke ihre Jungen bis zu einem bestimmten Entwicklungsstadium in ihrem Körper zurück. Im allgemeinen „gebiert" sie die Jungen, wenn sie ein Larvenstadium erreicht haben; es gibt jedoch auch

Linke Seite: Spirographys spallanzanii, die Schraubensabelle, ein festsitzender Borstenwurm unserer Zeit, der in einer steifen Wohnröhre lebt, aus der sein Tentakelkranz herausschaut.



Links: Bauplan der Neopilina; rechts: Bauplan der Käferschnecke. Die Verwandtschaft zwischen den beiden Weichtieren läßt sich deutlich erkennen.

Käferschnecken, die sie bis zur vollen Entwicklung behalten. Natürlich wissen wir nicht, ob sich ihre Vorfahren im Kambrium genauso verhielten.

Der Körperbau der Käferschnecke ist einfach: An den Enden sitzen zwei Öffnungen, eine Mund- und eine Afteröffnung. Der Außenrand ist von kleinen, kammartigen Kiemen gesäumt. Der den Körper umgebende Mantel scheidet auf der Oberseite eine harte Substanz aus, aus der sich die Schale bildet. Die Unterseite ist flach und klebrig und wird „Fuß" genannt. Dieser Fuß kann sich mit seinen Rändern fest auf einer Unterlage ansaugen; andererseits ermöglicht der in ihm befindliche Muskelapparat eine langsame Fortbewegung. Im Gegensatz zu den Ringelwürmern besitzt die Käferschnecke keine Tentakel, mit denen sie dem Mund Nahrung zustrudeln könnte. Dafür besitzt sie im Mund eine raspelförmige Zunge *(Radula),* mit der sie Algen von den Felsen abschabt.

Viele Wissenschaftler sind sich heute darüber einig, daß Mollusken und Anneliden auf einen gemeinsamen Vorfahren zurückzuführen sind. Am 6. Mai 1952 geschah etwas, das diese Ansicht zu bestätigen scheint: Das dänische Forschungsschiff Galathea, das im Pazifischen Ozean auf der Höhe von Costa Rica Meeresproben aus 3570 m Tiefe heraufholte, fing dabei etwa ein Dutzend unbekannter Weichtiere, die auf den ersten

Chiton olivaceus, eine kleine Käferschnecke, die in den italienischen Meeren häufig vorkommt. Gegenwärtig gibt es rund 600 Käferschneckenarten, die die Küsten sämtlicher Weltmeere bewohnen; nur wenige leben in großen Tiefen. Die Größe der Tiere schwankt zwischen 2 und 30 cm.

Blick wie gewöhnliche Napfschnecken aussahen. Eine genauere Untersuchung ergab jedoch, daß es sich um „lebende Fossilien" handelte, nämlich um die geheimnisvolle Urschnecke *Pilina,* die aus dem Kambrium überlebt hatte. Sie wurde *Neopilina galatheae* genannt. Mit großem Eifer studierte man ihren in fünf Segmente unterteilten Körper: fünf Paar Kiemenbüschel, fünf Paar Nierenöffnungen, fünffache Segmentierung des Muskelapparats. Ihre Weichteile lassen deutlicher als die der Käferschnecke eine Abstammung von den Anneliden erkennen.

Dennoch gehen die Meinungen darüber auseinander, welche der beiden als die eigentliche *Urschnecke* angesehen werden kann. Die älteste fossile Pilina besitzt eine Schale, ähnlich der der Käferschnecke, doch ist die Schale der Käferschnecke segmentiert (damit kann sich das Tier zur Verteidigung einrollen), die Pilinaschale dagegen nicht. Andererseits weist die Schale der Pilina Einkerbungen auf, die auf eine Segmentierung des Muskelapparats schließen lassen. Da man das

Merkmal der Segmentierung als das urtümliche Verbindungsglied zu den Anneliden ansieht, muß die Käferschnecke für denjenigen als die eigentliche Urschnecke gelten, der mehr Gewicht auf die Segmentierung der Schale legt, Pilina dagegen für denjenigen, der die Segmentierung der Weichteile für wesentlicher hält. Solche Untersuchungen sind nicht müßig; denn sie kennzeichnen das Bemühen, die Entwicklung des Lebens zu begreifen und zu rekonstruieren.

Linke Seite: Meeresgrund mit Vertretern verschiedener Weichtierklassen: Käferschnecke, Wellhornschnecke, Perlboot, Kammuschel, Neomenia, Neopilina und Zahnschnecke.

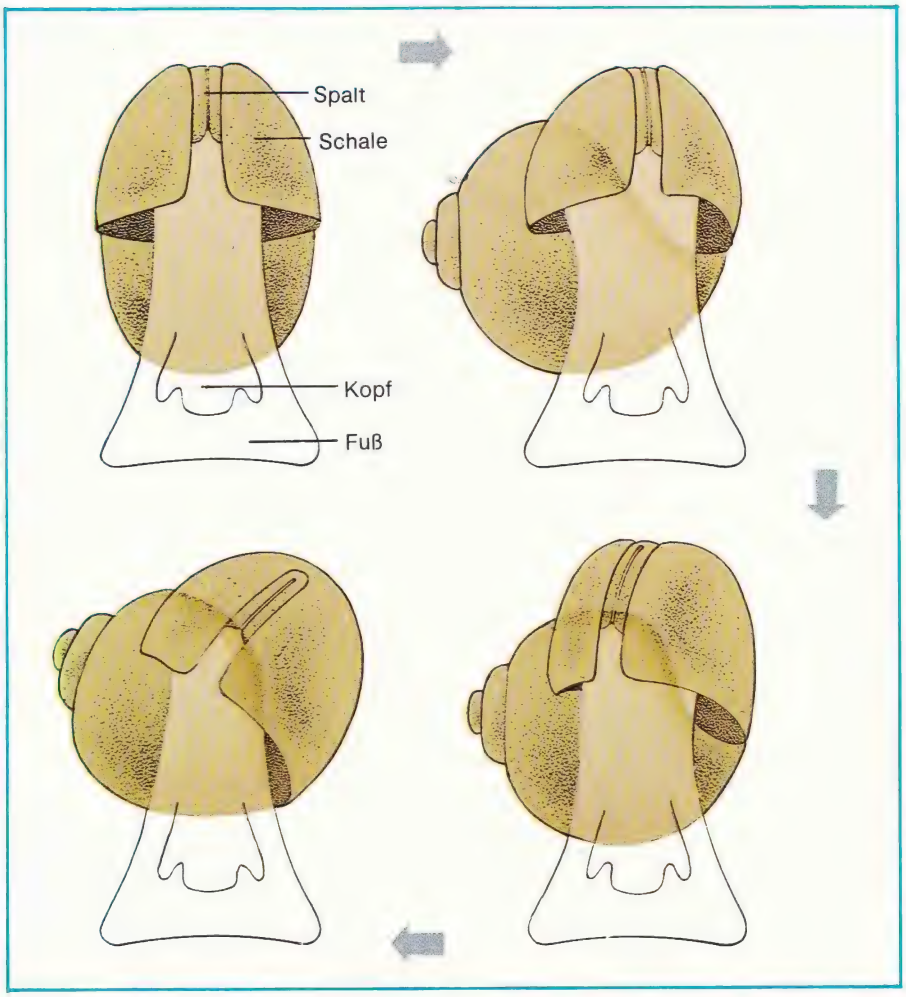
„Ideenreiche" Schnecken

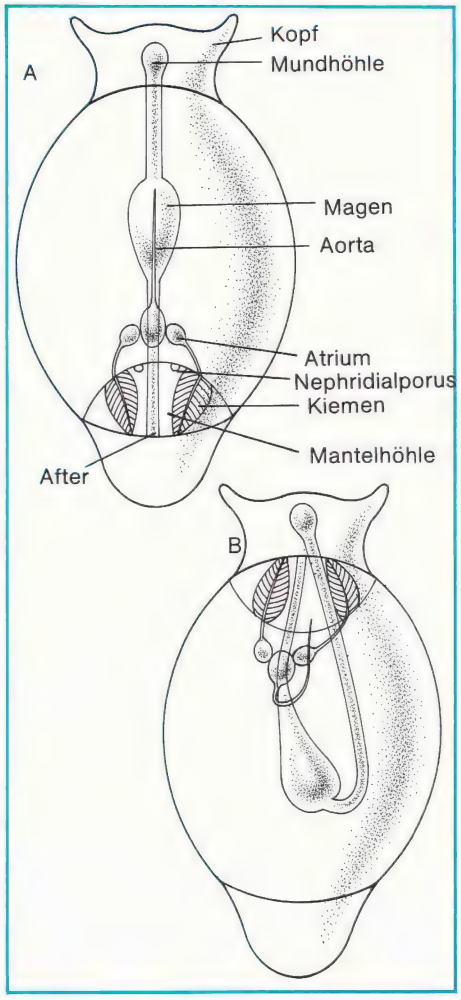
Das Tier „mit Hut überm Körper" – so könnte man das Urweichtier definieren wegen seiner Fähigkeit, sich eine Art Dach zu bauen – änderte mehrmals die „Meinung" über seine Körperbedeckung und noch häufiger über die Ausrichtung seines Körpers. Diese Bemühungen waren in der Tat immer sehr erfolgreich, und man schätzt heute die *Mollusken* oder *Weichtiere* (die noch lebenden und die ausgestorbenen) auf 128000 Arten.

Wie die Pilinen lösten auch die *Napfschnecken (Patellidae)* das Schalenproblem, d. h. das Problem, den wachsenden Körper mit einer Schale zu schützen, auf die simpelste Weise: Sie vergrößerten einfach

Unten links: Entstehungsphasen des asymmetrischen Schneckengehäuses.

Unten rechts: Bauplan einer urtümlichen Schnecke vor erfolgter Drehung des Eingeweidesacks (A) und danach (B).





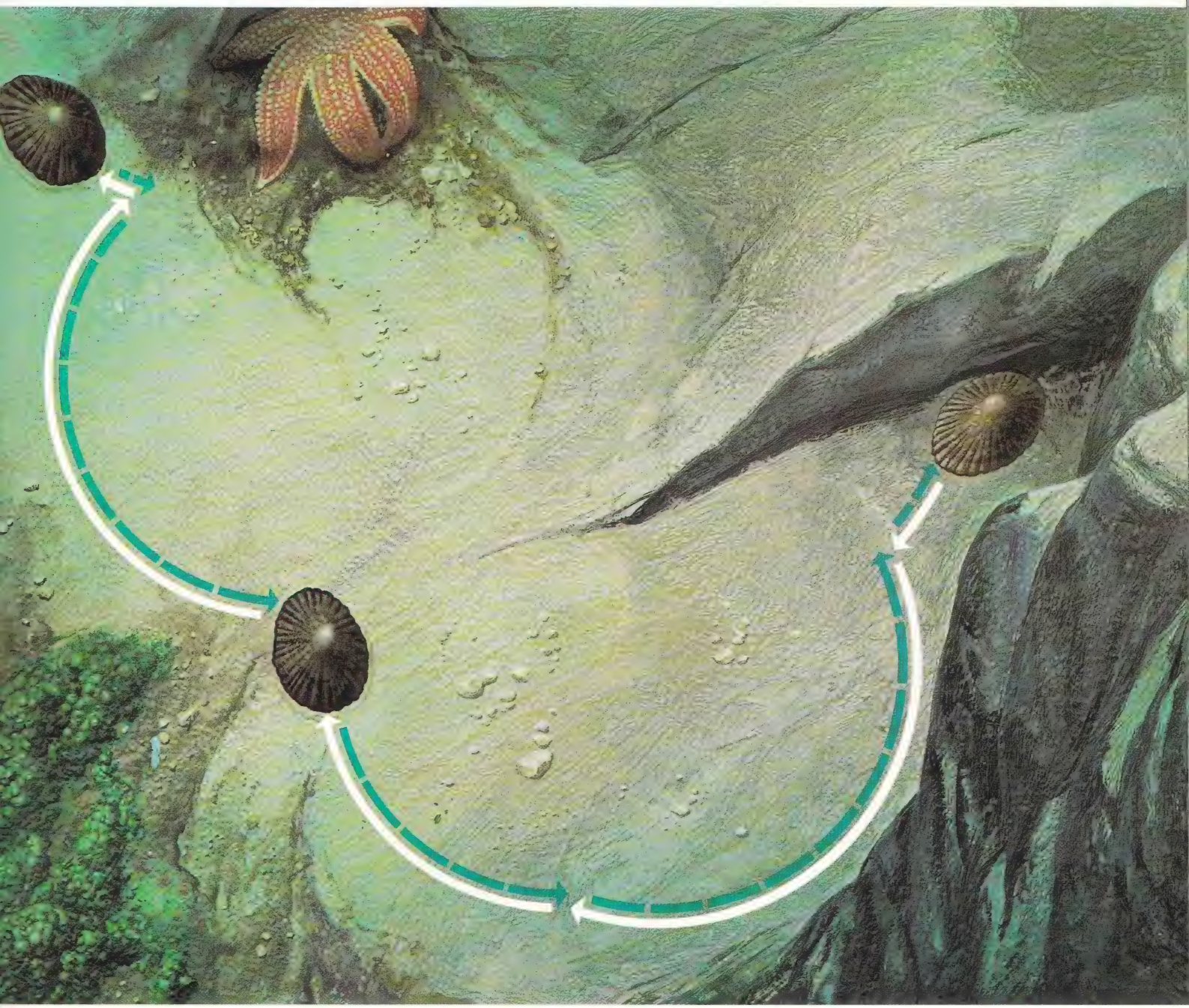
die Schale. Aber diese Lösung hatte ihre Nachteile: Von einer gewissen Grenze an wird die Größe einer Körperbedeckung unbequem. So wurde diese statt in die Breite wie ein Turm nach oben gezogen. Doch auch das war nicht problemlos; denn wer mit einem Turm auf dem Körper herumläuft, verliert leicht das Gleichgewicht. Dagegen läßt sich das Gleichgewicht eher halten, wenn man den langen Kegel spiralenförmig rollt. Die Balance ist noch stabiler, wenn die Spirale nicht nur vertikal, sondern auch asymmetrisch ausgebildet wird. Das macht sie niedriger und besser ausgewogen.

Patella coerulea, eine heutige Napfschnecke.

Die Fossilien dokumentieren uns die Geschichte all dieser aufeinanderfolgenden Entwicklungen der *Gastropoden (Bauchfüßer)* bis zu unseren heutigen Schnecken. Einen Hang zur Asymmetrie findet man schon bei den Napfschnecken, die sich mit einer flachen Schale zufriedengeben und das Problem der spiralenförmigen Aufwicklung zu einem hohen Kegel gar nicht erst aufkommen lassen.

Die Napfschnecken sind nicht fähig, nach rechts zu laufen, sondern sie bewegen sich immer nach links. Außerdem können sie sich nicht in gerader Linie fortbewegen, sondern nur Bogen beschreiben, die im

Die Napfschnecken bewegen sich nur im Kreis fort. Sie haben die Lebensgewohnheiten ihrer Vorfahren unverändert übernommen. Aus diesem Grund sind die fossilen Napfschnecken von großer Wichtigkeit für die Rekonstruktion urtümlicher Lebensräume.



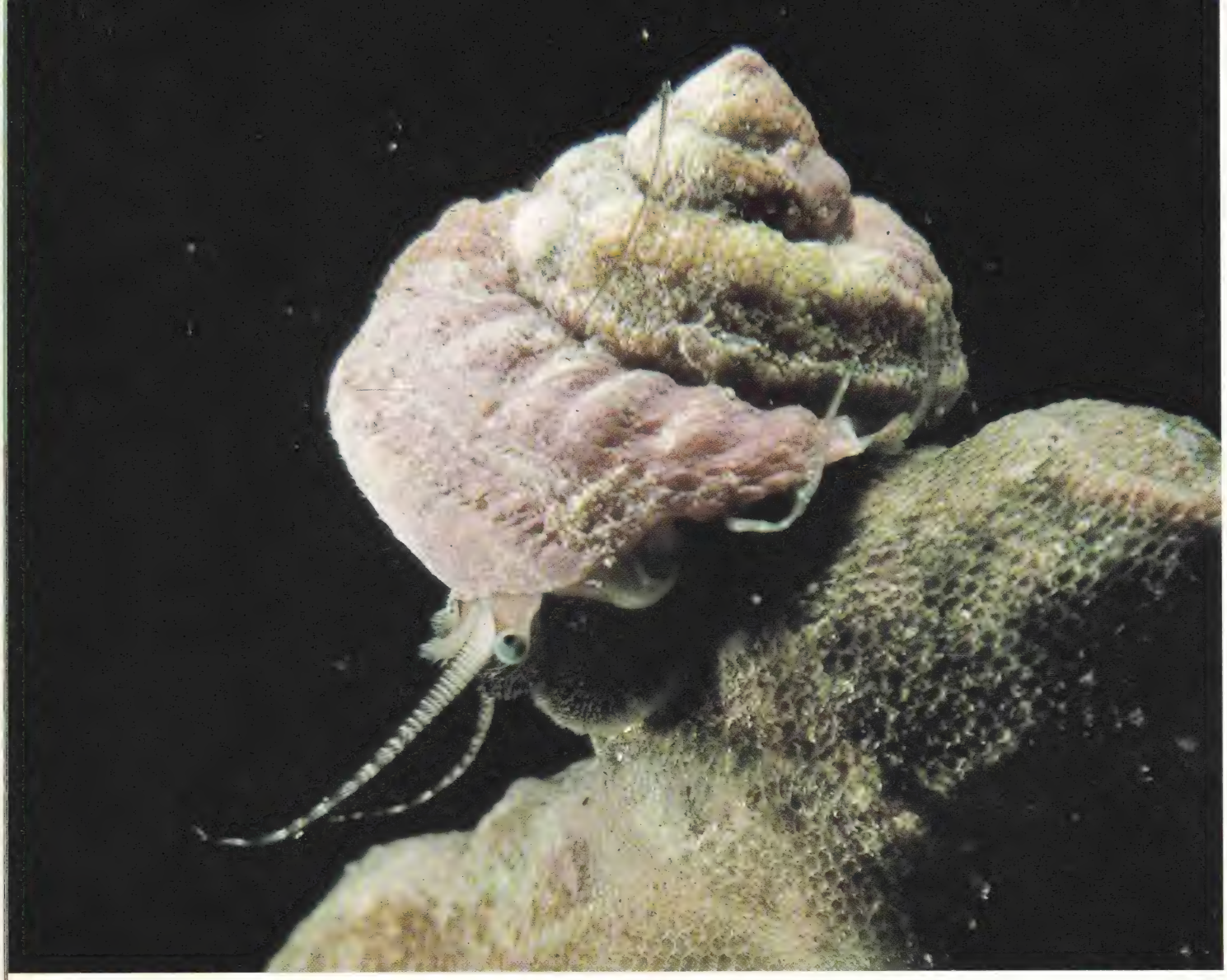
Höchstfall einen Durchmesser von 1 m haben. Dafür sind sie in der Lage, heimzufinden, d. h. z. B. genau die Felsspalte wiederzufinden, in der sie sich geborgen fühlten. Sie folgen dabei ihren eigenen Spuren, also der schleimigen Ausscheidung, die sie auf dem Weg hinterlassen haben. Hänsel und Gretel machten etwas ganz Ähnliches, als sie beim Gehen Brotkrümel fallen ließen, um den Rückweg aus dem dunklen Wald wiederzufinden.

Die Molluskenschale war zwar ein guter Schutz gegen die Gefahren der Umwelt, doch brachte auch sie ihre Probleme mit sich: Der größte Teil der Körperzellen verlor den Kontakt mit dem Wasser und damit die

Die Unterwasserlandschaft des Kambriums bevölkert sich nach und nach mit neuen Lebensformen: Neben den Schwämmen, Algen und Korallen tauchen nun die Weichtiere oder Mollusken am Meeresgrund auf.

Möglichkeit, selbständig Sauerstoff aufzunehmen. Aus diesem Grund entwickelten die Weichtiere einen sehr differenzierten Kiemenapparat, die *Fiederkiemen* oder *Ktenidien.* Wie wir gesehen haben, besaß Pilina fünf Paar Kiemen auf Grund ihrer von den Anneliden ererbten Unterteilung in Segmente. Doch die Segmentstruktur wurde aufgegeben, und in einer bestimmten Epoche des mittleren Kambriums entwickelten sich Mollusken mit nur einem einzigen Kiemenpaar, das in den hinteren Körperteil verlegt wurde.

Die Wasseraufnahme von hinten her funktionierte jedoch nicht besonders, wenn das Tier in Bewegung war; denn das Wasser strömte



Gibbula magus, eine heutige Meeresschnecke. Die Schnecken sind die artenreichste Klasse der Weichtiere. Man kennt über 35 000 rezente Arten und rund 15 000 fossile.

nach hinten vom Körper ab, und die ganze Anstrengung der Kiemenwimpern, diesem Abströmen entgegenzuwirken, um durch das Zuführen von sauerstoffreichem Wasser eine verbesserte Atmung zu erzielen, war umsonst. Erschwerend kam noch hinzu, daß gerade ein in Bewegung befindlicher Organismus einen besonders großen Bedarf an Sauerstoff hat.

Es erfolgte daher eine überraschende Wandlung: Das Tier bog sich in seiner Schale zu einem U und führte das Körperende nach vorn neben den Kopf. So konnte es besser atmen, da beim Schwimmen sauerstoffreiches Wasser von selbst in die Kiemen floß, und zwar um so mehr, je schneller die Bewegung war.

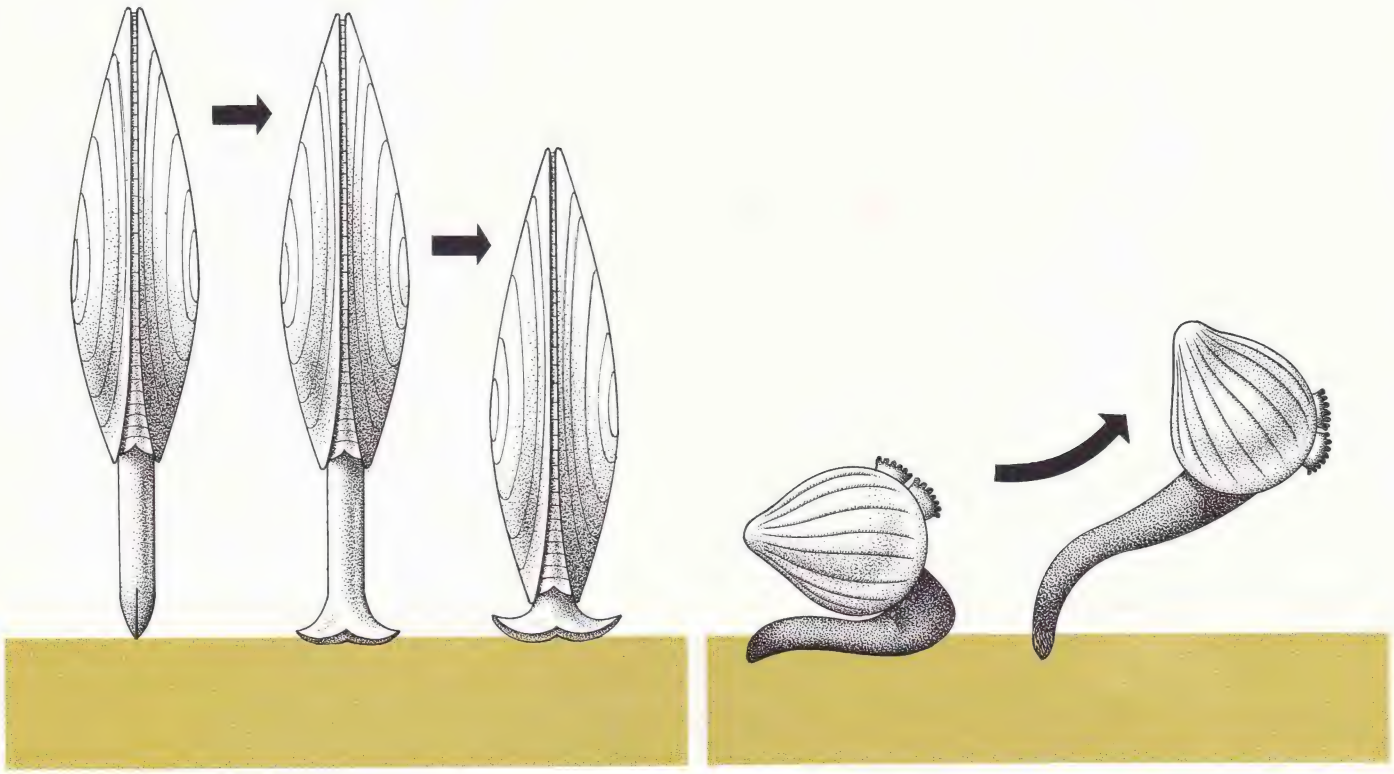
Doch die Schwierigkeiten nahmen kein Ende. Nun lag die Afteröffnung genau zwischen den Kiemenblättchen, so daß das Tier bei der Fortbewegung seine eigenen Ausscheidungen mit dem Atemwasser einatmete. Die Lage war vor allem deshalb verzwickt, weil sich in unmittelbarer Nähe der Kiemen ein chemisches Sinnesorgan ausgebildet hatte, das bei der Nahrungssuche von Nutzen war. Wir können uns vorstellen, daß von diesem chemischen Sinnesorgan Reflexe ausgingen, die bei einer derartigen Wasserverschmutzung die Vorwärtsbewegung

hemmten. Doch gerade diese Bewegung war für das Auffinden der Nahrung unerläßlich und, seit die Kiemen vorgezogen worden waren, auch für die Atmung wichtig.

Es passierte also zum zweiten Mal etwas Unvorhergesehenes, und zwar auf Grund der Tendenz zur Asymmetrie, wie wir sie bereits von den einfacheren Napfschnecken her kennen: Das Tier legte sich auf die Seite und verdrehte den Körper. Es behielt nur ein einziges Ktenidium bei, das linke, und verlegte den After nach rechts. Auch die Schale zog einen statischen Vorteil aus diesem Vorgang, doch der ursprüngliche Grund dafür lag mit großer Wahrscheinlichkeit darin, eine Verschmutzung des Bereichs zu vermeiden, in dem das Tier atmete und Nahrung aufnahm.

Verschiedene Variationen dieses Grundschemas waren der Ursprung der vielen Formen der Schnecken. Der Windungsprozeß des Körpers ist noch bei allen Gastropoden im embryonalen Zustand erkennbar. Bei der Mehrzahl der heutigen Schnecken, den *Vorderkiemern,* zeigen auch die erwachsenen Tiere die Drehung, während sie sich bei den *Lungenschnecken* und bei den *Hinterkiemern* während des Wachstums zurückentwickelt oder grundlegend ändert und anderen Organisationen Platz macht.

Tridacna maxima, die Riesenmuschel, die heute im Indischen Ozean vorkommt. Zu ihrer Ernährung filtriert sie nicht nur Wasser, sondern „kultiviert" im fleischigen Gewebe ihres Mantels einzellige Grünalgen, die sie sich dann mittels spezieller Zellen einverleibt.



Die Wiederentdeckung der zweiklappigen Schale: die Muscheln

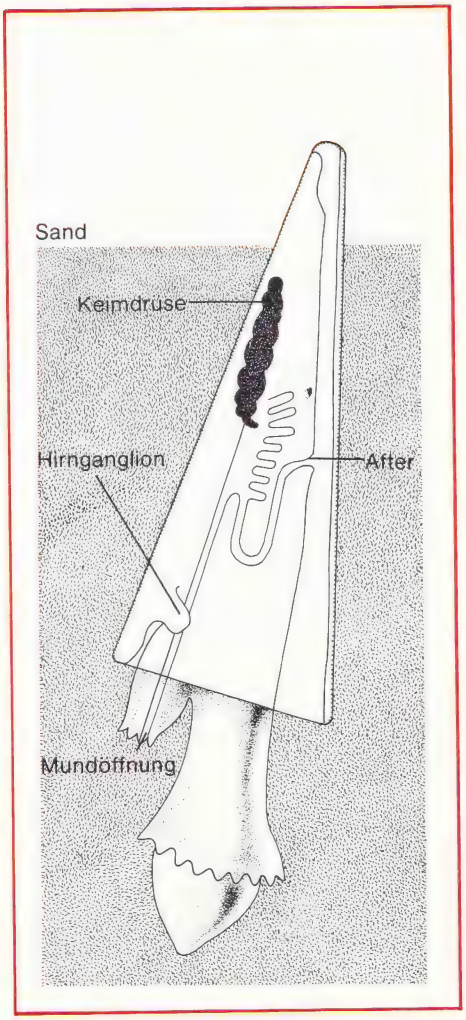
Aus dem Bauplan der Schnecken läßt sich ihre mobile Lebensweise erkennen. Dagegen gab es andere Mollusken, die weitestgehend auf die Fortbewegung verzichteten: die *Muscheln (Lamellibranchiata).* Es handelt sich bei ihnen nicht um rein festsitzende Formen, doch bewegen sie sich selten und nur dann, wenn es unbedingt notwendig ist. All die Verdrehungen, welche die Schnecke vornehmen mußte, um ihren Körper erst zu einem U zu formen und ihn dann auf die linke Seite zu drehen, bedeuten für die Muscheln unnötige Komplikationen. Auch ist eine große Ausdehnung des Fußes für sie keine Notwendigkeit, eher das Gegenteil: Für eine seßhafte Lebensweise ist ein schmaler Fuß viel nützlicher, mit dem man sich in den Boden eingraben kann.

Mit der Schale verhielten sich die Muscheln wie jemand, der einen Hut mit Krempe trägt und die Krempe rechts und links weit herunterzieht: So wird aus einem ursprünglich flachen Hut eine Art Helm, und schließlich entsteht an dessen Spitze ein Scharnier. Damit haben unsere Muscheln das zweischalige Modell wiederentdeckt, das bereits von den urtümlicheren Armfüßern (Brachiopoden) erfunden worden war. Bei den Armfüßern lagen die Schalen jedoch horizontal, während sie bei den Muscheln vertikal stehen.

Im übrigen forderte das seßhafte Leben weitere Veränderungen: Wer nicht mehr herumkriecht, um die Felsen nach Nahrung abzusuchen, benötigt auch die Raspelzunge der Schnecke nicht mehr. Statt dessen muß er große Mengen Wasser zum Nahrungserwerb filtrieren. Aus diesem Grund können Muscheln für den Menschen, der sie verzehrt, gefährlich sein. Als Wasserfiltrierer im großen Stil sammeln sie nämlich auch Krankheitskeime in großen Mengen in ihrem Körper an (die Cholera, die 1973 in Süditalien ausbrach, war auf den Verzehr derart

Links: Yoldia limatula, eine Bohrmuschel, die sich mit ihrem Fuß fest in den Sandgrund eingräbt.

Rechts: Die Muschel Laevicardium crassum kann sich mit einem seltsamen Sprung vorwärts bewegen.



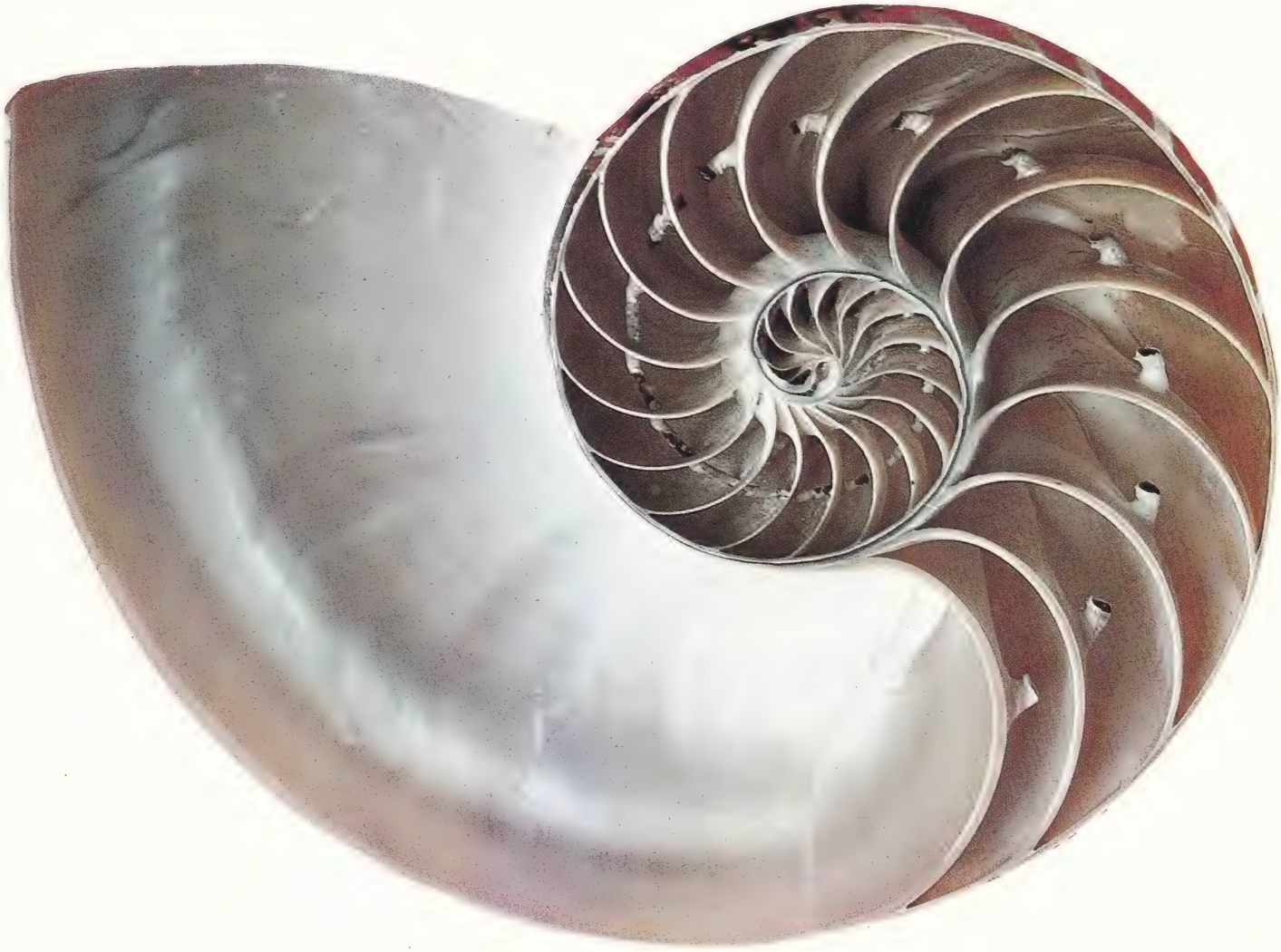
Rechts: Bauplan der Zahnschnecke. Die Zahnschnecken gehören zur Weichtierklasse der Grab- oder Kahnfüßer. Wegen der eigenartigen Form ihrer Gehäuse werden sie auch „Elefantenzähne" genannt. Man kennt rund 200 Arten.

Links: Dentalium sexangulum, ein häufiges Zahnschneckenfossil aus dem Pliozän.

infizierter Muscheln zurückzuführen). Andererseits sind die Muscheln dadurch auch sehr nützlich, da sie das Wasser in ihrer Umgebung reinigen. Um Wasser in größeren Mengen filtrieren zu können, besitzen einige Muscheln zwei *Siphonen,* durch die das Wasser mit Hilfe von Wimperbewegungen eingesogen bzw. ausgestoßen wird.

Intelligente Kopffüßer

Eine weitere große Molluskenfamilie, die bereits im Kambrium auftrat, war die der *Kopffüßer (Zephalopoden).* Ihr Motto könnte geheißen haben: „Angriff ist die beste Verteidigung"; denn wichtiger als der Schutz durch eine harte Schale scheinen ihnen Muskelkraft und die

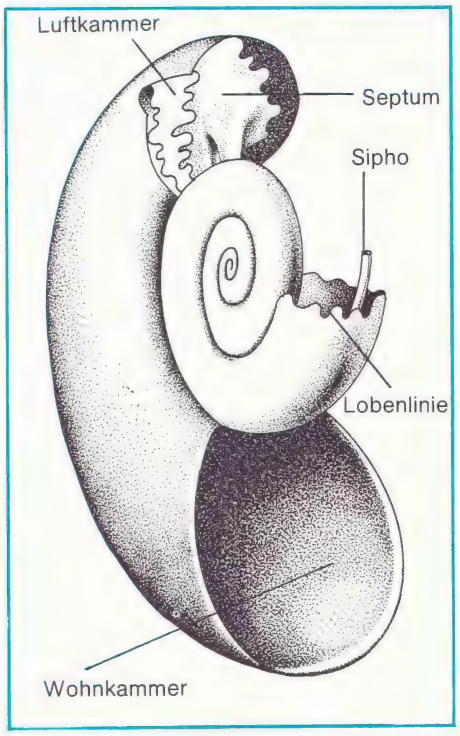


Das Gehäuse eines Perlboots (Nautilus). Die geschwungenen Querwände (Septen) unterteilen das Gehäuse in luftgefüllte Kammern. Das Tier bewohnt die vorderste, größte Kammer. Die Luftkammern bewirken, daß das Tier im Wasser schwebt, auch wenn es sich ausruht und nicht schwimmt. Die Perlboote sind aus vielen Gründen interessant: Sie sind die einzigen lebenden Kopffüßer, die ein Gehäuse besitzen; es fehlt ihnen der „Tintenbeutel"; sie haben Augen ohne Linsen und eine sehr große Anzahl Mundtentakel (ungefähr 90).

Geschwindigkeit in der Fortbewegung gewesen zu sein. Zu Beginn ihrer Entwicklung hatten sie die Molluskenschale noch beibehalten, wie es auch heute noch beim *Nautilus (Perlboot)* der Fall ist. Die Größe des Gehäuses ist für diesen kein Problem mehr; denn im Gegensatz zur kriechenden Schnecke schwimmt der Kopffüßer, und die Schale wird dazu verwendet, das Schwimmen zu erleichtern.

Während seines Wachstums baut sich das Perlboot ständig eine immer größer werdende Vorderkammer, in die es einzieht, während die hinteren leeren Kammern zu Luftkammern werden (ähnlich hatten sich bereits die Foraminiferen verhalten). Die Kammern sind voneinander durch Scheidewände (Septen) getrennt, die von einem gasabsondernden Sipho, dem verlängerten hinteren Körperende als röhrenförmigem Fortsatz des Eingeweidesacks, durchbohrt werden.

Alle Weichtiere sind wandelbar, die Kopffüßer sind es jedoch im besonderen Maße, und zwar sowohl in bezug auf ihre Körpergröße (von 2 cm bis zu 25 m) als auch in bezug auf ihre Körperform. Bei den fossilen Funden liegen die spiraligen Windungen der Gehäuse manchmal eng beisammen und laufen in einer Spitze aus wie bei den Schnecken. In anderen Fällen liegen die Windungen ganz weit auseinander. Schließ-



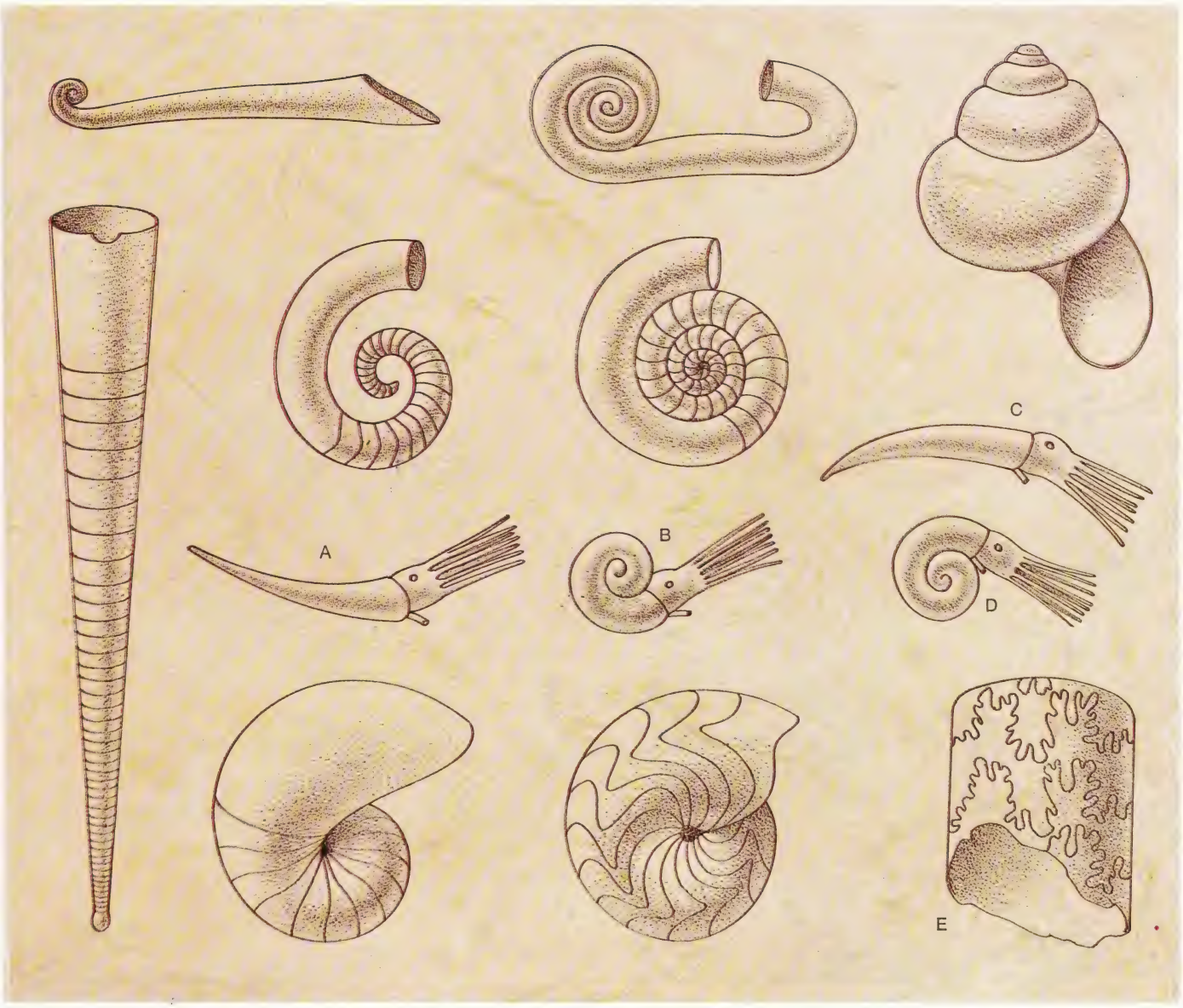
lich gibt es auch völlig ungekrümmte Gehäuse. Beim Perlboot, dem einzigen heute noch lebenden Kopffüßer, der seine Schale, die spiralig aufgewunden ist, beibehalten hat, ist die größte Luftkammer beim Schwimmen nach unten gerichtet, während es andere Arten gab, die sie nach oben hielten.

Auf der Außenwand der Gehäuse sind die Ansätze der Scheidewände an der Gehäuseinnenwand erkennbar. Beim Perlboot sind diese Nähte einfach und flach, während sie bei den später auftretenden Ammoniten komplizierter, d. h. zickzackförmig und reliefartig erhaben verlaufen. Die prächtigen Ammoniten erlebten einst einen großen Aufschwung, doch im Laufe der Entwicklungsgeschichte verschwanden sie; das einfachere Perlboot dagegen hat überlebt.

Es gibt noch etwas anderes, das man mit seinem Hut, wenn wir die Schale mit einem solchen vergleichen wollen, machen kann: Man kann ihn zusammenrollen und in die Tasche stecken. So etwas Ähnliches machten viele Kopffüßer, genau genommen alle, die heute noch existieren, mit Ausnahme der Perlboote (Nautiliden). Möglicherweise war es vorgekommen, daß bei einigen Tieren die langgezogene Gehäusespirale besonders klein ausfiel und in der Hautduplikatur, dem *Mantel*

Rechts: Bauplan der Ammoniten.

Links: Ein Ammonit des Karbons (Gruppe Agathiceras), gefunden in Texas. Auf Grund ihrer gekammerten Schalen werden die Ammoniten, die vor ungefähr 60 Millionen Jahren ausgestorben sind, den Kopffüßern zugerechnet. Ihre Einteilung in Gruppen erfolgt nach ihren verschiedenen Nahtlinien (Lobenlinien).

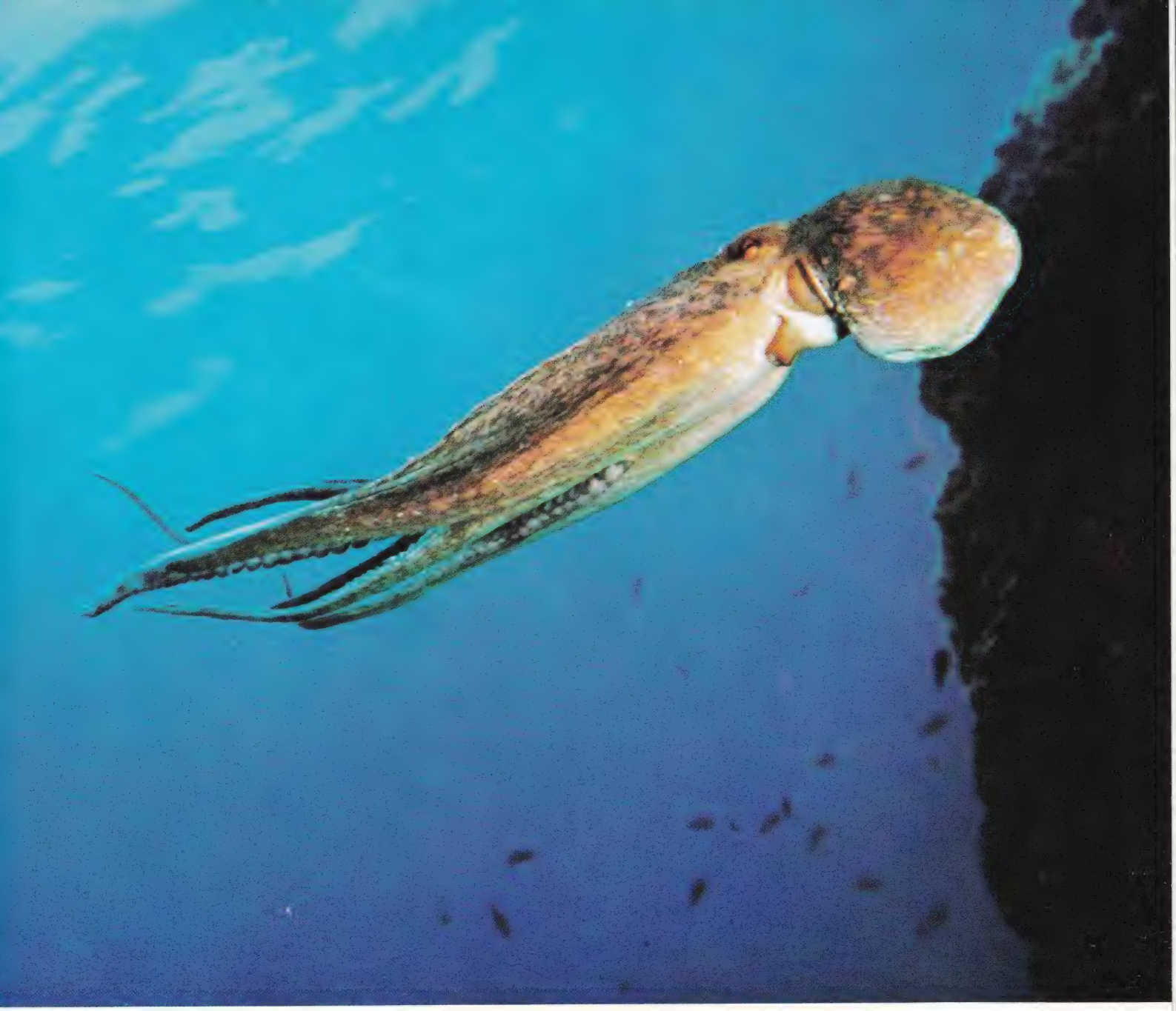


Gehäuse fossiler Kopffüßer. Bei A, B, C und D werden die verschiedenen Windungen des Tiers gezeigt, das einmal mit seiner Rückenwand und einmal mit seiner Bauchwand nach außen liegt. Unten rechts (E) werden die komplizierten Nahtlinien eines Ammoniten der Kreidezeit gezeigt. Heute kennen wir nur noch rund 400 lebende Kopffüßerarten (gegenüber 10 000 fossilen Formen).

oder *Pallium,* die sie ausbildete, steckenblieb. Das war gar keine so schlechte Lösung; denn die eigentliche Verteidigung des Kopffüßers war und ist auch heute noch die Schnelligkeit der Schwimmbewegung bei der Flucht. Wozu brauchte er aber dann noch ein Gehäuse?

Das *Schwimmen der Kopffüßer* besteht in der Hauptsache aus einer Fortbewegung durch Rückstoß. Der Mantel ist dafür zu einem Trichter geworden, dessen Wand von längs sowie von ringförmig verlaufenden Muskeln durchzogen ist. Ziehen sich nur die Längsmuskeln zusammen, dann wird der Trichter kurz und weit und füllt sich mit Wasser. Ziehen sich dann die Ringmuskeln zusammen und die Längsmuskeln erschlaffen, verengt sich der Trichter, das Wasser wird ausgestoßen, und das Tier schießt in der entgegengesetzten Richtung davon.

Auf diese Weise erreichen die *Tintenfische* die höchste Geschwindigkeit aller wirbellosen Tiere überhaupt. Einige von ihnen besitzen



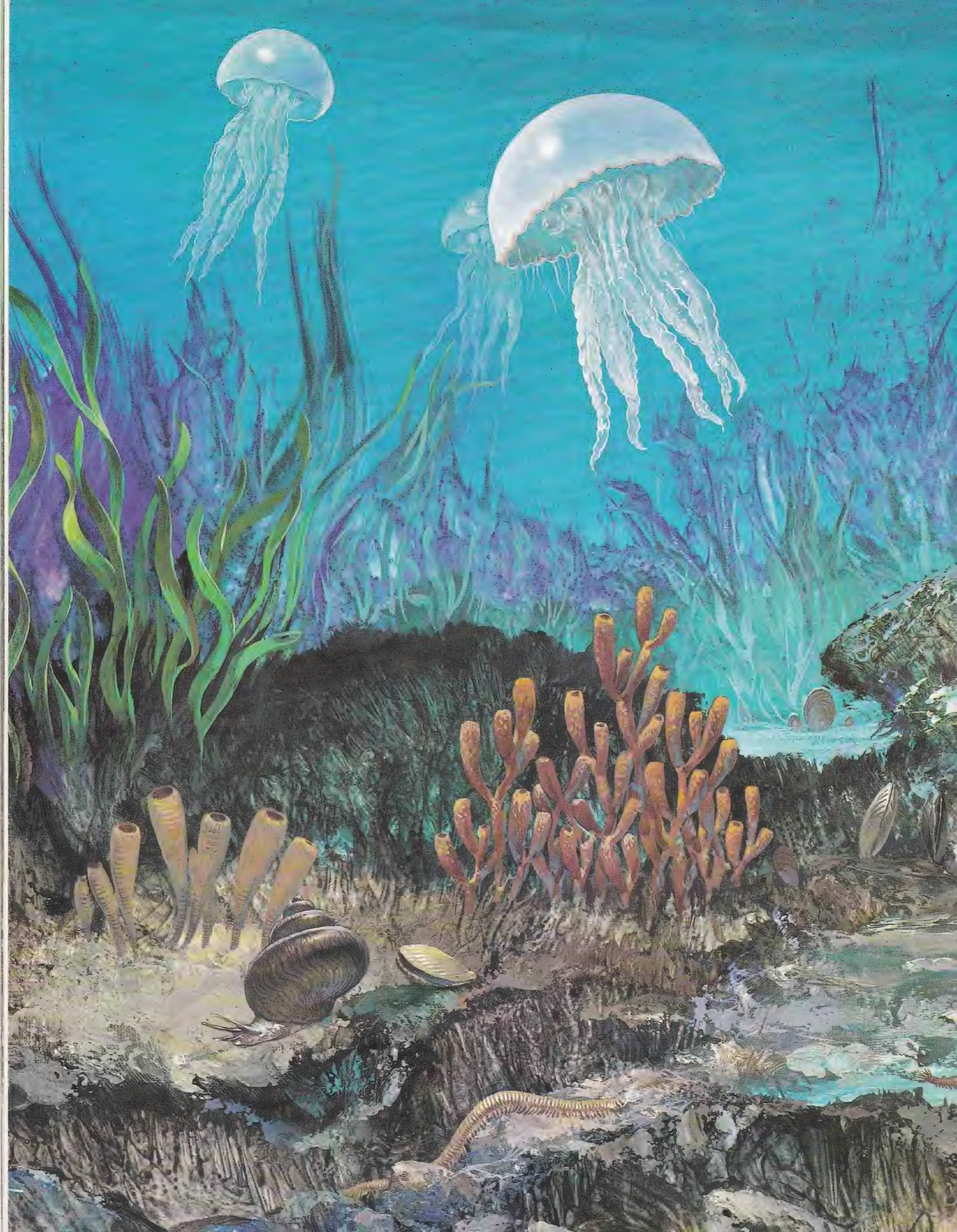
Octopus vulgaris, der Gemeine Krake unserer heutigen Meere. Bei den Kraken ist das Gehäuse der urtümlichen Kopffüßer völlig verschwunden, im Unterschied zu den Tintenfischen, die im Innern des Körpers noch einen „Schulp" haben.

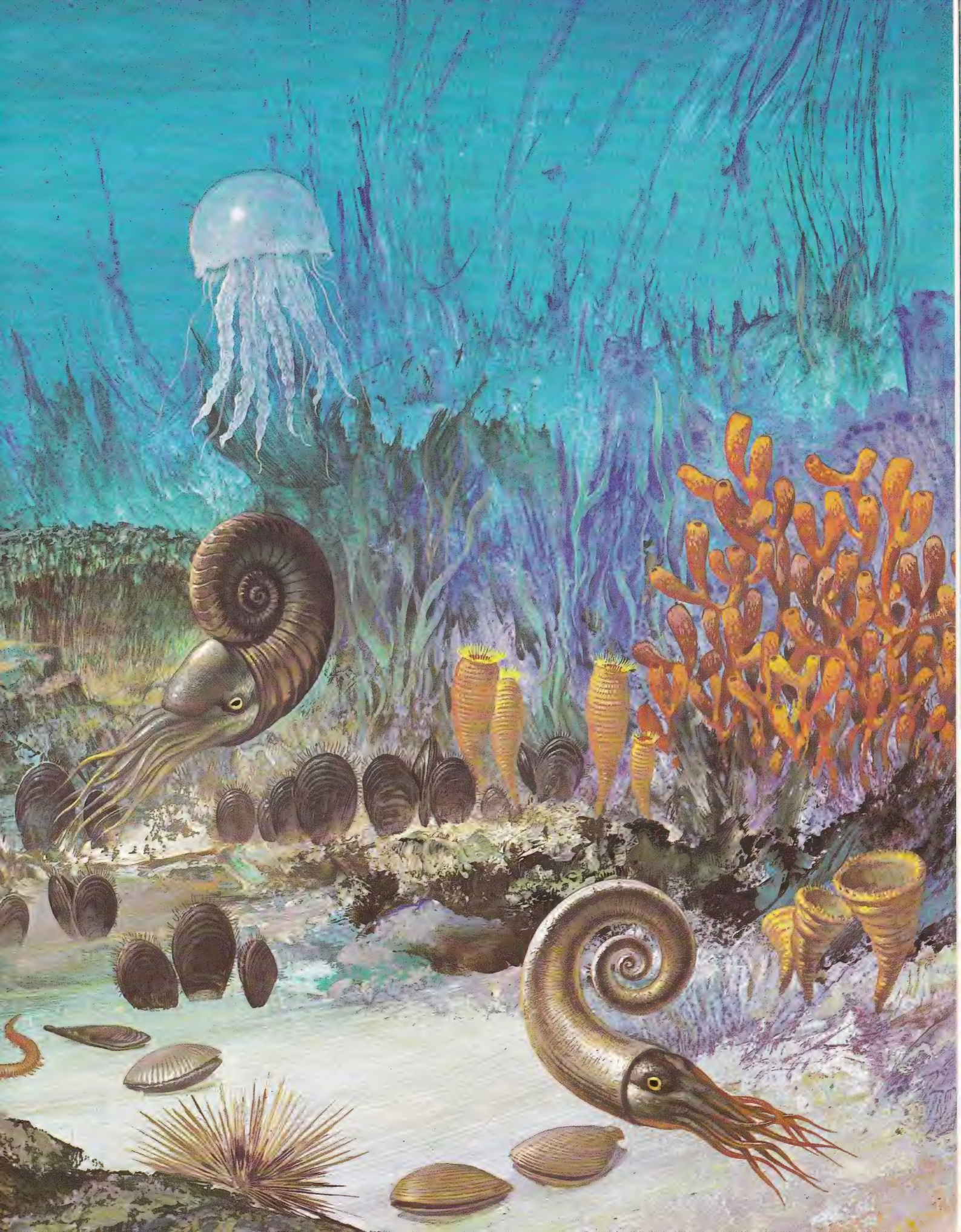
außerdem seitliche Flossen als Stabilisatoren. Manchmal stößt der Trichter das Wasser mit einer solchen Wucht aus, daß das Tier auf dem Deck eines Schiffs einige Meter über dem Wasserspiegel landet.

Solche überragende motorische Fähigkeiten lassen sich jedoch nicht nutzen ohne ein gutes Orientierungsvermögen innerhalb des Lebensraums. So sind bei den Kopffüßern neben den chemischen Sinnesorganen für den Geruchs- bzw. Geschmackssinn, die häufig mit dem Orientierungssinn in enger Verbindung stehen, vor allem die Augen sehr gut ausgebildet. Sie können Farben, Formen und Bewegungen unterscheiden. Einige Arten besitzen auch ein Sinnesorgan für Form und Farbe, das nichts mit den Augen zu tun hat, sondern in der Haut sitzt.

Man hat festgestellt, daß z. B. *Kraken* auch ohne Gesichtssinn fähig sind, sich dem Boden anzupassen, indem sie sich auf einem Sandgrund eine äußerst klein gemusterte Körperzeichnung zulegen und eine

Abbildung auf den beiden folgenden Seiten: Mit dem Auftauchen der Kopffüßer belebte sich der Meeresboden im Kambrium immer stärker.



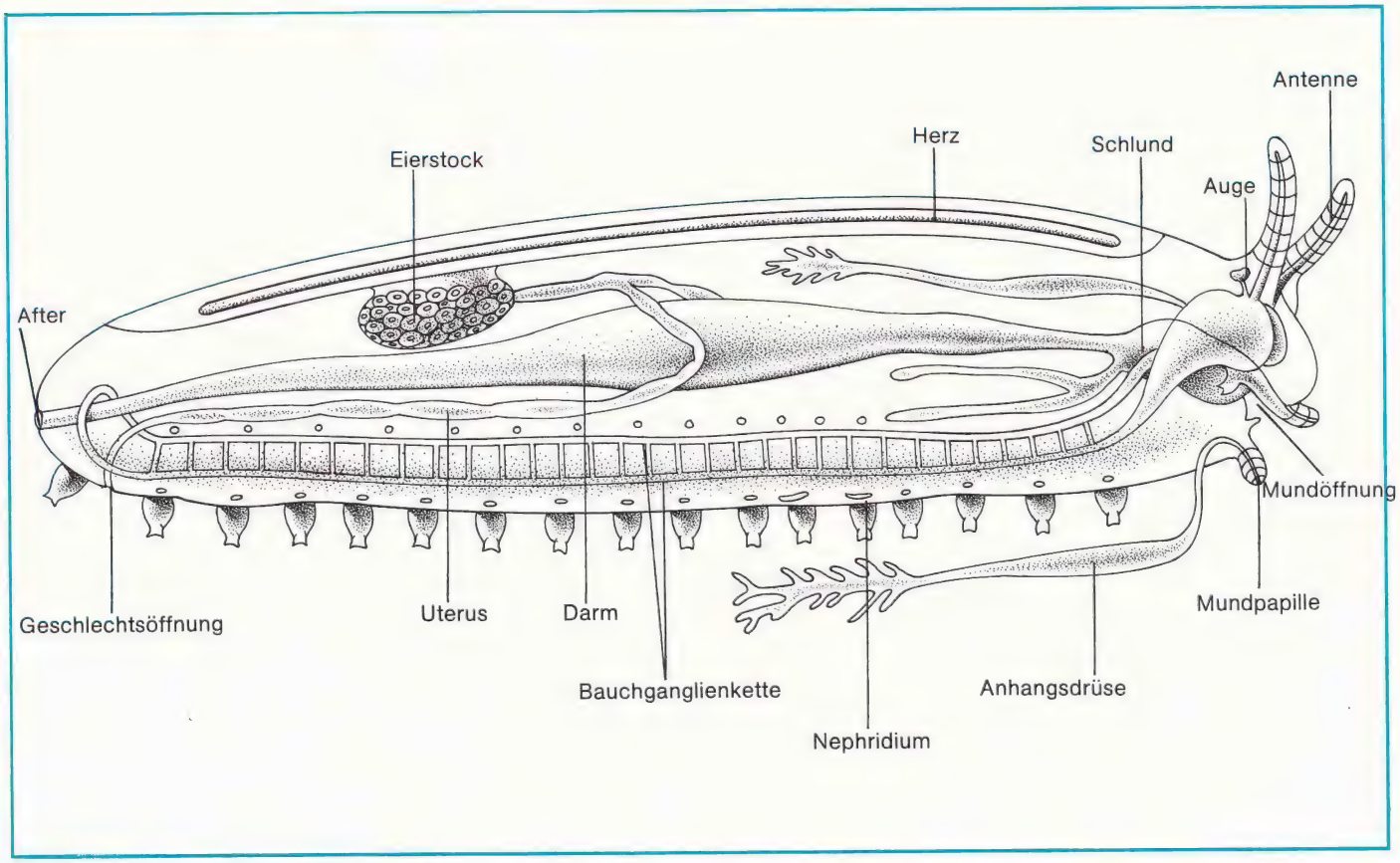


gröbere, wenn sie sich auf Kiesgrund befinden. Selbst die Farben des Untergrunds können sie „kopieren". Dies erfolgt durch besondere in die Haut eingelagerte Zellen *(Chromatophoren),* die unterschiedliche Pigmente enthalten und sich ausdehnen und zusammenziehen können.

Einige Kopffüßer senden Lichtsignale aus. So besitzen die Arten, die in den ozeanischen Tiefseegräben leben, geschlossene, mit Linse und Reflektoren versehene *Leuchtorgane,* in denen zwei besondere Substanzen, Luziferin und Luziferase, miteinander reagieren und bei Vorhandensein von Sauerstoff Licht ausstrahlen. Die Arten, die in den geringeren Tiefen der Küstenzonen leben, erzielen die gleichen Ergebnisse durch eine *Symbiose mit Leuchtbakterien,* die sich in einer Tasche des Körpers befinden. Wieder andere Arten stoßen eine *leuchtende Flüssigkeit* aus oder können ihr Licht wie Scheinwerfer willkürlich aufblitzen lassen, um Signale auszusenden, die vor allem zum Anlocken des Geschlechtspartners dienen. – Bei einigen Kopffüßern, wie der *Spirula,* die nicht für sich allein leben, wie es im allgemeinen bei räuberischen Tieren der Fall ist, sondern in Schwärmen umherschwimmen, dient das Leuchtorgan ähnlich wie ein Rücklicht dazu, den Schwarm zusammenzuhalten. Dieses „Rücklicht" besitzt eine Art Blende, die seine Leuchtkraft reguliert.

Einige Kopffüßer sind mit der berühmten „Tinte" versehen, einer Flüssigkeit, die sie ausschütten, um sich dem Anblick ihrer Feinde zu entziehen oder um ihre Feinde zu verwirren. Andere schleudern ihren Feinden Wolken von Leuchtbakterien entgegen.

Bauplan eines Stummelfüßers. Ähnliche Geschöpfe gab es bereits im Kambrium. Aus dieser Epoche stammt der einzige bis heute gefundene fossile Rest des Meeresstummelfüßers Aysheaia. Die heute existierenden Arten sind ausschließlich Landbewohner und bevorzugen feuchte Lebensräume in tropischen oder gemäßigten südlichen Gebieten.



Die *Vermehrung der Kopffüßer* erfolgt oft über eine regelrechte Paarung: Das Männchen führt einen seiner mit Samenzellen beladenen Arme in eine Körperhöhle des Weibchens ein, in der die Eier liegen. Bei den Kraken kümmert sich die Mutter um die Jungen und hilft ihnen sogar beim Schlüpfen aus dem Ei. Wenn sie dafür keinen geeigneten Schlupfwinkel findet, dann baut sie sich selbst einen aus kleinen Steinchen. Diese Tiere beschränken sich also nicht darauf, ihren Lebensraum so zu nutzen, wie er ist, sondern sie versuchen ihn nach ihren Bedürfnissen umzugestalten. Doch erfolgt dies nicht nach einem bestimmten Schema, sondern stets der jeweiligen Situation angepaßt. Man kann also von einer gewissen „Intelligenz" dieser Weichtiere sprechen, einer Intelligenz, vergleichbar mit der der höheren Wirbeltiere, die auch eine Zähmung und vielerlei Arten einer „Abrichtung" zuläßt.

Wir wissen nicht, ob die Kopffüßer des Kambriums in der Differenziertheit ihrer Sinnesorgane und ihres Nervensystems den heute lebenden gleichkamen. Ganz sicher wissen wir jedoch, daß mit den Zephalopoden das Leben im Kambrium bereits einen sehr hohen Entwicklungsgrad erreicht hatte.

Stummelfüßer als Ahnherren der Gliederfüßer

Kehren wir nun zurück und schauen, was eigentlich aus den Ringelwürmern (Anneliden) geworden ist, die sich nicht zum Weichtier entwickelt haben. Es war wiederum im Kambrium, als einige Anneliden zum Ursprung von seltsamen, kleinen Tieren, den *Stummelfüßern* oder

Peripatus (der „Umherwandler"), ein neuzeitlicher Stummelfüßer.

Oben: Die Trilobiten mußten sich wie alle Gliederfüßer regelmäßig häuten. Man findet daher häufig Einzelteile ihres Außenskeletts wie diese beiden Schwanzschilder (Pygidien) des Trilobits Scutellum.

Rechte Seite: Geologische Verteilung der Hauptgruppen, in welche die Gliederfüßer unterteilt werden. Obwohl ihre Existenz wahrscheinlich schon auf das Präkambrium zurückgeht, in dem sie sich von den Anneliden differenziert haben, erfuhren sie erst im Kambrium einen großen Entwicklungsaufschwung, der durch zahlreiche Fossilien belegt ist.

Onychophoren („Nagelträger"), wurden. Ihre letzten Abkömmlinge leben heute ausschließlich in den tropischen Wäldern, und es war nicht leicht für die Zoologen, ihre Meeresverwandtschaft aufzuspüren. Es handelt sich um Tiere, die auf den ersten Blick aussehen wie eine Kreuzung zwischen einem Regenwurm (Vertreter der Anneliden) und einem Tausendfüßer (Vertreter der Gliederfüßer oder Arthropoden). An die Anneliden erinnert der in Segmente unterteilte Körper, der bei jedem Ring ein Paar mit Krallen bewehrter Füßchen trägt. Dieser Körper ist jedoch mit einem (allerdings membranartig dünnen) Chitinpanzer bedeckt, wie ihn auch die Gliederfüßer besitzen.

Die Stummelfüßer haben die merkwürdige Angewohnheit, ihre Feinde aus zwei seitlich der Mundöffnung gelegenen sog. Oralpapillen „anzuspucken". Sie leisten damit Außerordentliches; denn man stelle sich vor, daß ein 6 cm langes Tier bis zu 50 cm weit spucken kann. Das entspräche bei einem Menschen einer Spuckweite von etwa 15 m. Außerdem können sie sich gehend fortbewegen, wenngleich nur mit einer Geschwindigkeit von etwa 60 cm pro Minute. Tagsüber verbergen sie sich im feuchten Boden, aber nachts wandern viele von ihnen so

Stummelfüßer
Apterygoten
Hundertfüßer
Diplopoden
Pycnogonida
Ruderfußkrebse
Armfüßer
Rankenfüßer
Arthropleurida
Spinnentiere
Muschelkrebse
höhere Krebse
Pterygoten
Merostomata
Trilobiten
Merostomoidea
Insekten
Pararthropoda
Tausendfüßer
Trilobitomorpha
Chelicerata
Krebstiere
Kambrium

Zur Fortbewegung besitzen die Gliederfüßer oder Arthropoden gegliederte Körperanhänge, die entweder als Ruder zum Schwimmen oder als Laufbeine dienen. Links: eine Meereskrabbe; rechts: ein Spinnentier.

unermüdlich umher, daß sie den wissenschaftlichen Namen *Peripatus* („Umherwandler") erhielten.

Einige Arten sind ovovivipar (d. h., sie legen Eier mit bereits entwickelten Embryonen ab), während andere sogar die Fähigkeit besitzen, ihre Jungen im Uterus über eine Plazenta zu ernähren. Das ist wirklich überraschend; denn wir nehmen ja für gewöhnlich an, daß die Plazenta erst eine Erfindung der Säugetiere sei. In Wirklichkeit sind uns diese „spuckenden" Stummelfüßer, die sich lange nicht entschließen konnten, ob sie nun Ringelwürmer oder Gliederfüßer sein wollten, längst zuvorgekommen.

In den Tonlagern von Burgess in British Columbia (Kanada) wurden viele fossile Spuren von *Aysheaia,* einem Vorfahren der heutigen Stummelfüßer gefunden, der sich zumindest äußerlich stark von seinen Nachkommen unterscheidet. Wieweit sich jedoch der innere Aufbau des kleinen Tierchens bei seiner Umstellung vom kambrischen Meeresbewohner zum heutigen Landbewohner gewandelt hat, ist uns nicht bekannt.

Ein weiteres Merkmal der frühen Stummelfüßer stellt eine gewisse Vorwegnahme dar: die *Chitinhaut,* ein nicht dehnbarer Mantel, der auch nicht mit dem Körper zusammen wächst und daher immer wieder aufreißt und abgelegt wird. Damit begegnen wir zum ersten Mal dem Phänomen der Häutung, das heute allen mit einer Chitinhülle versehenen Tieren, nämlich den Gliederfüßern, eigen ist.

Die *Gliederfüßer* oder *Arthropoden* werden in der Regel unterteilt in *Kieferlose (Amandibulata),* die im Kambrium durch die Trilobitomorpha

und Chelicerata (Scherenfüßer oder Fühlerlose; zu denen die Pfeilschwanzkrebse, Spinnentiere und Asselspinnen gezählt werden), vertreten waren, und die mit Kiefern versehenen Stämme, die *Mandibulata,* die im Kambrium als Krebstiere auftraten. Die Insekten, ebenfalls Arthropoden der Gruppe Mandibulata und heute die artenreichste Tiergruppe überhaupt, erschienen erst viel später (im Devon; vor rund 400–300 Millionen Jahren).

Jene Anneliden, aus denen sich später die Arthropoden entwickelten, schlugen einen Weg ein, der sie zu großem Erfolg führen sollte: Von über einer Million heute beschriebener Tierarten rechnet man, daß 850000 zu den Gliederfüßern zu zählen sind. Diese Gliederfüßer haben zwar die Segmentstruktur des Annelidenkörpers beibehalten, doch die Chitinhülle des Körpers bedeutet eine große Erneuerung, gleich, ob diese nun verhältnismäßig flexibel ist oder, wie bei den Krebstieren, mit Kalksalzen imprägniert und dadurch knochenhart ist. In jedem Fall ist die Hülle genügend steif, um ein Außenskelett (Ektoskelett) auszubilden, das jedoch nicht nur eine Schutzfunktion hat wie die Schalen der Mollusken.

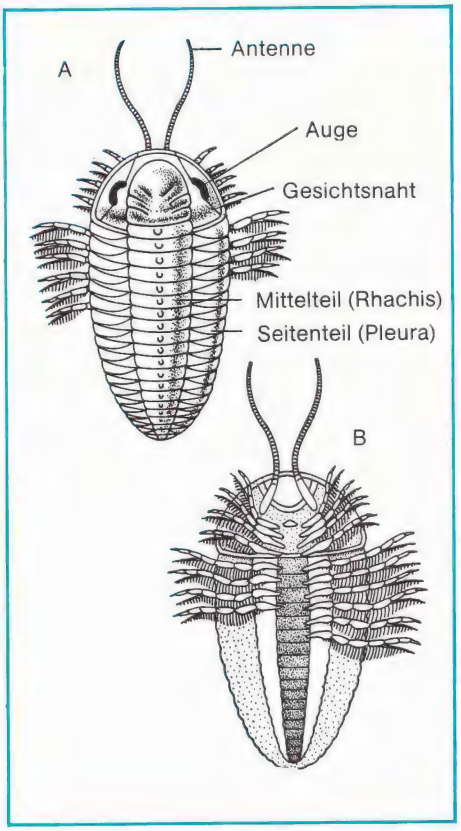
Die Bedeutung dieser Neuerung liegt in der Chitinverwendung bei den Körpersegmenten und bei den Körperanhängen, die mit jedem Segment korrespondieren. Das Außenskelett, das diese Körperanhänge umkleidet, macht aus ihnen die gegliederten Füße, die das Insekt später dazu verwenden wird, um auf der Erde zu krabbeln. Vor dem Auftauchen der Insekten wurden sie von den Krebstieren bereits im Wasser als Ruder verwendet, womit das rudernde Schwimmen an die Stelle des Schwimmens durch Rückstoß, wie es bei den Kopffüßern der Fall ist, gesetzt wurde.

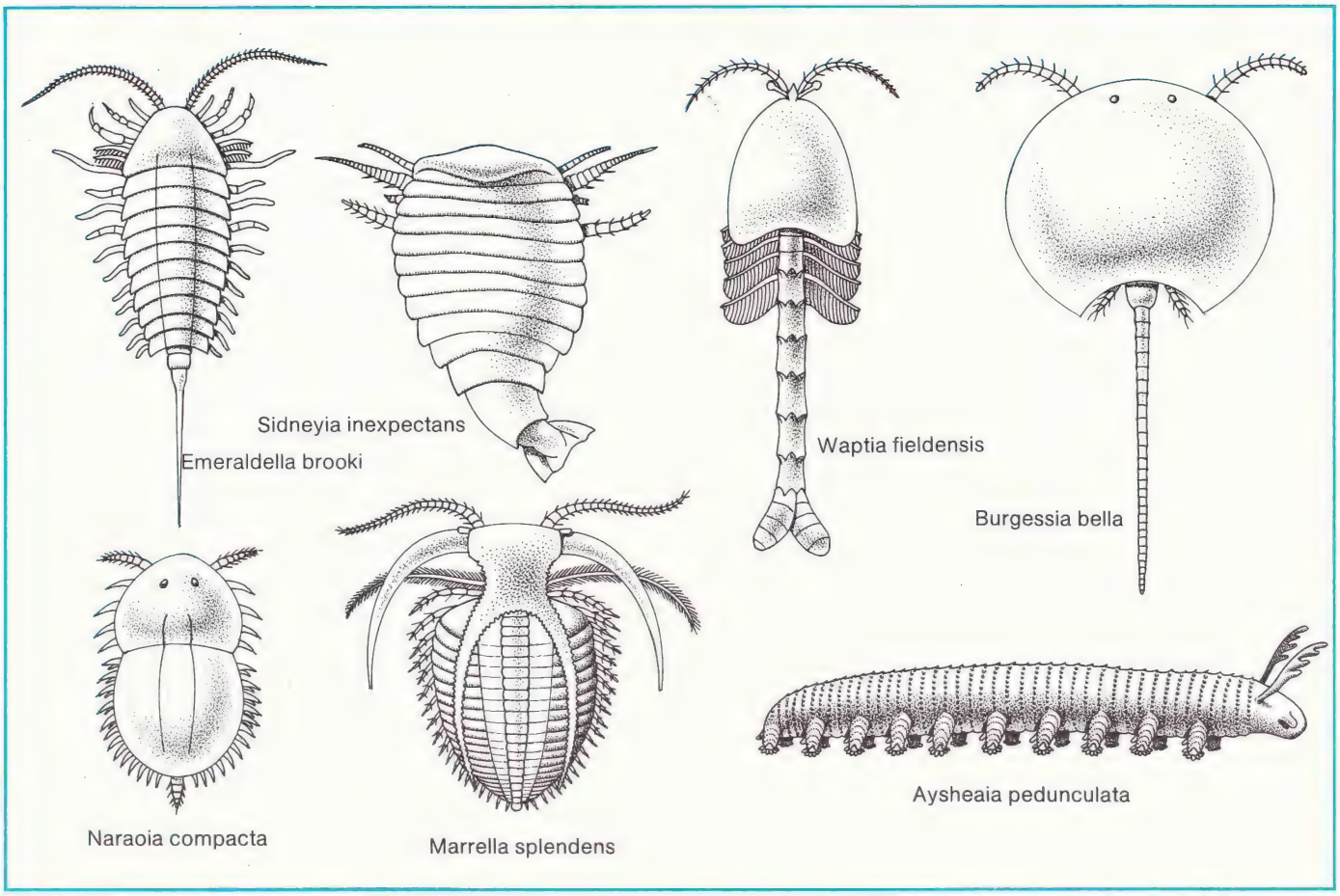
Bestünde der *Chitinpanzer* aus einem Stück, dann könnte das Tier weder seine Gliedmaßen noch seinen Körper bewegen. Er ist jedoch gegliedert, d. h. durch dünne, gefaltete Chitinhäutchen in Segmente unterteilt, so daß die steifen Körperplatten bzw. zylinderartigen Körperabschnitte gegeneinander beweglich sind.

Wie bei den Wirbeltieren sind bei den Gliederfüßern richtige Muskelbündel ausgebildet, die die Skeletteile bewegen. Bei den Wirbeltieren jedoch setzen die Muskeln an den Skeletteilen eines innerhalb des Körpers gelegenen Innenskeletts an, bei den Arthropoden dagegen an der Innenseite eines Außenskeletts. In beiden Fällen findet das Hebelgesetz Anwendung, doch handelt es sich bei den Wirbeltieren um mehr oder weniger kompakte Hebel, bei den Gliederfüßern dagegen um röhrenartige Hüllenbildungen. Ein solches Außenskelett hat seine Vorteile, weil es, ohne das Körpergewicht zu erhöhen, sowohl als Hebel dient als auch Schutz bietet (nicht wie beim mittelalterlichen Ritter, der zu seinem Schutz eine besonders schwere Eisenrüstung anlegen mußte).

Wir haben jedoch gesehen, daß das Außenskelett die *Häutung* mit sich bringt, und das ist ein Nachteil, weil das Tier im Anschluß an die Häutung nackt und wehrlos ist; im allgemeinen begibt es sich daher zum Wechseln seines „Gewandes" an einen geschützten Ort. Zu dieser Komplikation kommt noch hinzu, daß, je größer die Körperausmaße werden, um so kräftiger auch das Außenskelett als Körperstütze ausgebildet sein muß. Dadurch wird das Tier immer schwerfälliger und somit leichter angreifbar. Auch die Häutung wird immer schwieriger. Daher hat die natürliche Auslese die Arthropoden klein gehalten, vor allem jene Arten, die auf dem Festland leben.

Bauplan der Trilobiten: Oberseite (A) und Unterseite (B). Der Name Trilobit oder Dreilappkrebs bezieht sich auf die Unterteilung des Körpers in drei Längs- und drei Querbereiche. Der Länge nach unterscheidet man einen mittleren Teil oder Rhachis und zwei Seitenlappen oder Pleuren. In der Querunterteilung unterscheidet man den Kopfschild, in dem sich die – oben oder seitlich sitzenden – Augen befinden, den Hinterleib, der sich aus 2–22 gegliederten Segmenten zusammensetzt, und den Schwanzschild, das Pygidium.





Von den Dreilappkrebsen zu den Schwertschwänzen

Oben: Rekonstruktion der häufigsten Trilobiten und des bisher ältesten bekannten Stummelfüßers (unten rechts). – Nach Funden aus den kambrischen Tonvorkommen von Burgess, Kanada.

Rechte Seite: Phacops rana, ein vollkommen versteinerter Trilobit aus dem Devon (gefunden in Ohio).

Abbildung auf den beiden folgenden Seiten: Zu den inzwischen bekannten Bewohnern der kambrischen Meeresböden gesellen sich nun die Trilobiten und Schwertschwänze.

Im unteren Kambrium erschienen die *Trilobiten* oder *Dreilappkrebse,* die ältesten Arthropoden, die wir kennen. Nach einer Periode üppiger Verbreitung, in der sie die höchstentwickelten Tierorganismen darstellten, verschwanden sie wieder. Den fossilen Funden zufolge lassen sich über 4000 verschiedene Arten unterscheiden, alle gekennzeichnet durch eine ovale, abgeflachte Form, die in drei Längslappen und drei Querbereiche unterteilt ist. Ganz unterschiedlich sind dagegen ihre Größen, die von einem halben Zentimeter bis zu 75 Zentimeter reichen. Die Oberseite (der Rücken) des Panzers war wesentlich widerstandsfähiger als die untere Seite (Bauchseite). So kennt man aus den fossilen Funden hauptsächlich die Rückenpanzer, die während einer Häutung abgeworfen wurden.

Der Körper der Trilobiten war in drei Sektoren unterteilt: Kopf, Rumpf oder Thorax und Hinterleib oder Pygidium. Der Kopfteil wurde durch einen Schild geschützt, der Mund lag am unteren Teil des Kopfes. Die Augen waren auffallend groß und zusammengesetzt (ähnlich wie die Facettenaugen unserer heutigen Insekten) und zählten bis zu 15000 Ommatidien (jedes Ommatidium bestand aus einer kleinen Hornhaut, einem Kegel und einer winzigen Netzhaut). Die Augen lagen entweder auf der Oberseite oder seitlich am Kopf, je nach den Lebensgewohnheiten der Tiere: Es gab Arten, die hauptsächlich schwammen oder sich auf dem Meeresgrund aufhielten und daher die seitlich gestellten Augen

Unten links: Bei den Trilobiten variiert die Augenform je nach Gattung beträchtlich; sie scheint dabei zwei verschiedenen Evolutionslinien zu folgen: Bei der ersten scheinen sich die Augen immer mehr zurückzuentwickeln, bis sie völlig verschwinden (1, 2, 3, 4). Bei der zweiten vergrößern sich die Augen immer mehr (5, 6, 7). Eine Abart, die bei einigen Gattungen gefunden wird, sind die Stielaugen (8).

benötigten. Andere dagegen lebten halb im Sand oder Schlamm vergraben und benötigten deshalb Augen, die oben am Kopf saßen. Bei diesen Schlammbewohnern hatte der Kopfschild die Form einer Schaufel und war als Grabinstrument geeignet.

Alle Trilobiten besaßen zu beiden Seiten des Mundes Antennen, wie wir sie von den heutigen Insekten kennen. Die Eingeweide waren unter dem mittleren Lappen der Schale gut geschützt, besonders auf der Höhe des Thorax. Die seitlichen Lappen, die etwas nach innen gingen, so daß die Bauchseite schmäler als die Rückenseite war, schützten die von allen Körpersegmenten abgehenden Anhänge. Diese sog. *Spaltbeine* waren alle nach dem gleichen, ziemlich komplizierten Modell gebaut: Sie hatten einen Innenzweig, der ausschließlich zum Gehen diente, und einen Außenzweig, der, da er sich außerhalb der Körperdecke bewegen konnte, zu Kiemen umgebildet war und die Atmung übernahm (er konnte aber auch für rudernde Schwimmbewegungen verwendet werden).

Wenn wir uns die Trilobiten als gemeinsame Vorfahren der Gliederfüßer vorstellen (oder einen unmittelbaren Vorfahren der Trilobiten als gemeinsamen Ahnherrn sowohl der Trilobiten als auch der anderen Arthropoden), so erkennen wir in ihrer Nachkommenschaft einige Hauptlinien, von denen sich eine als eine nicht sehr weit führende

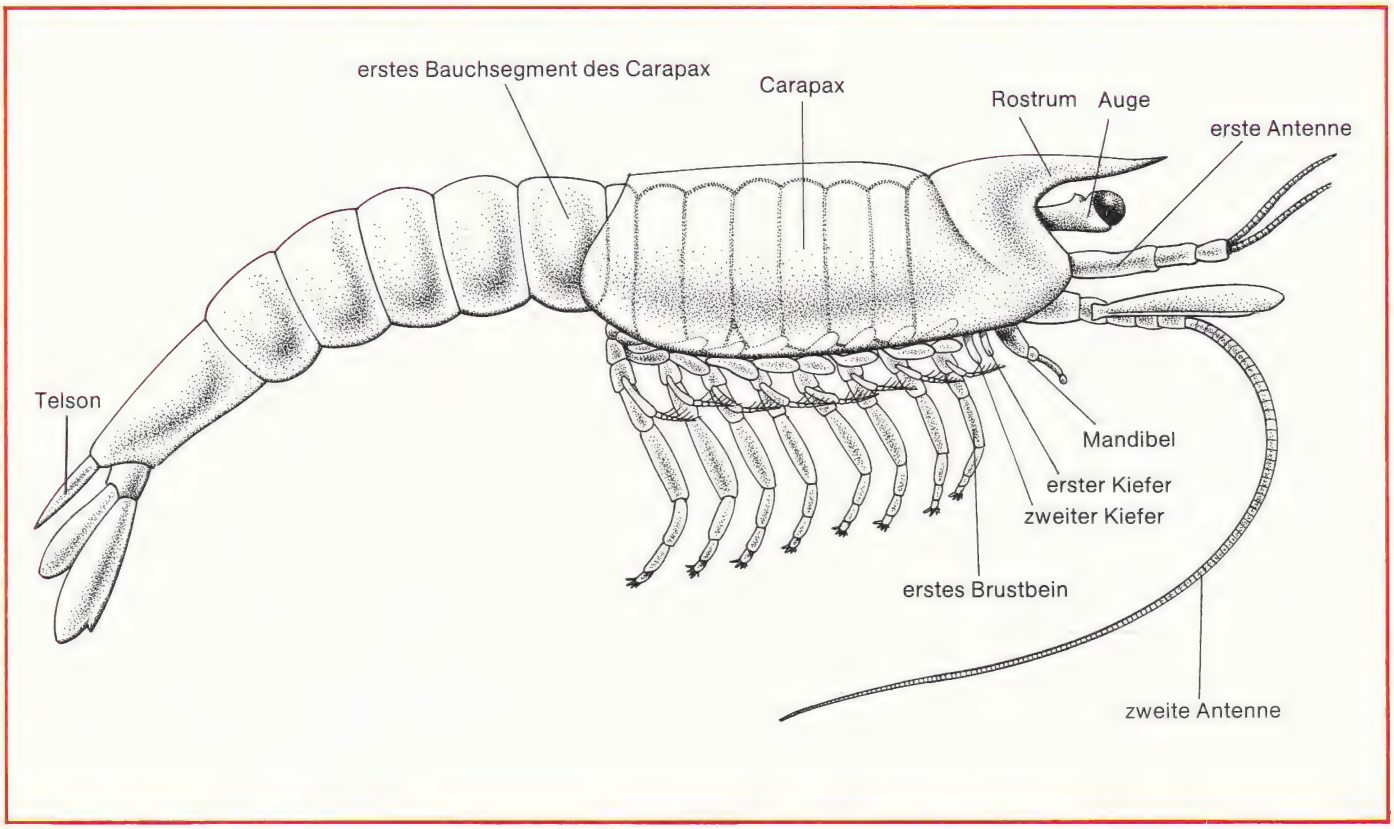
Unten rechts: Mesolimulus walchii, ein Schwertschwanz der Oberkreide, der direkte Ahnherr unserer heutigen Schwertschwänze.

Nebenlinie erwies. Dies ist die Linie der „Falschen Krebse" oder *Pseudokrustazeen,* von denen eine Anzahl von Fossilien in den Tonvorkommen von Burgess gefunden wurde: *Burgessia* und *Waptia.* Diese Tiere waren zwischen einem und zehn Zentimeter lang, trugen einen ungelappten, hufeisenförmigen Rückenschild und einen langen, vom Schild nicht geschützten Schwanz. Ihre Anhänge glichen denen der Trilobiten, ihre Augen dagegen waren den Augen der Krebstiere ähnlich.

Eine gewisse äußere Ähnlichkeit mit Burgessia und Waptia besitzen die *Schwertschwänze (Limulus, Xiphosura),* wahrhaft „lebende Fossilien", die einige zu Beginn des Kambriums aufgetauchte Wesensmerkmale so gut wie unverändert beibehalten haben. Die Verwandtschaft zwischen Schwertschwänzen und Trilobiten ist besonders auffällig bei den Larven. Der Rückenschild der Schwertschwänze ist ebenfalls hufeisenförmig mit der Ausbuchtung nach unten, aber diese Ausbuchtung ist mit einem anderen Schildsegment ausgefüllt, über das dann der kräftige, schwertförmige Schwanz hinausragt. Diese ihre auffallende Form verdanken die Schwertschwänze dem Versuch, verschiedene Segmente miteinander zu verschmelzen.

Schwertschwänze sind sehr aktive Lebewesen, die bei ihren Wanderungen Entfernungen bis zu 30 km zurücklegen. Auf der Suche nach

Trilobitenfossilien aus den Tonlagern von Burgess, Kanada: Ogygopis klotzi (1) und Olenoides serratus (2).



Oben: Bauplan eines Höheren Krebses. Die Unterklasse der Höheren Krebse umfaßt ungefähr Dreiviertel aller bekannten Krustazeenarten, und zwar alle größeren Krebstiere (z. B. Krabben, Garnelen und Langusten).

Nahrung graben sie mit ihren vordersten Beinpaaren, die sich zu *Scheren* oder *Chelizeren* entwickelt haben, im Sand nach Würmern und kleinen Mollusken, die sie dann mit den um ihren Mund sitzenden Anhängen zermalmen. Erst danach verschlingen sie ihre Beute.

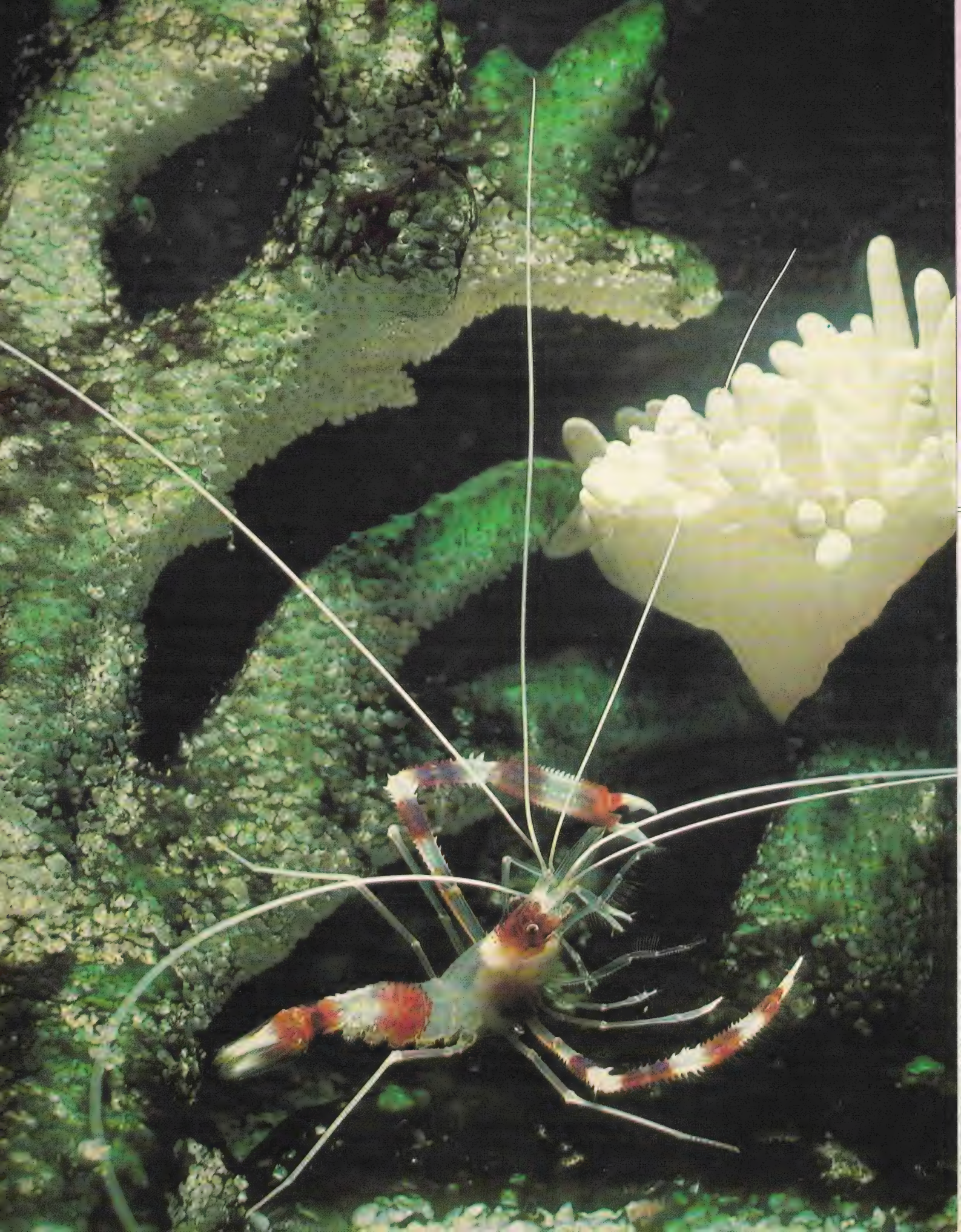
Einige Schwertschwanzarten erreichen eine Länge von 60 cm. Die Häutung einer so großen Schale ist ein langer und mühsamer Vorgang, der dem Tier eine etwa acht Stunden dauernde Anstrengung abverlangt. Die Atmungsorgane sind unter dem Hinterleib angebracht und sehen aus wie die Blätter eines Buches. Die Geschlechter sind getrennt. Die Befruchtung findet außerhalb des weiblichen Körpers statt, wenn das Männchen seinen Samen abgibt und über die kleinen Eihäufchen ergießt, die das Weibchen in Sand- oder Schlammlöchern abgelegt hat. Die plumpen, etwa 1 cm großen Larven treiben eine Zeitlang mit dem Bauch nach oben im Wasser, ohne zu fressen, da sie von den im Ei enthaltenen Nahrungsvorräten leben; ihre Reife erreichen sie erst nach drei Jahren.

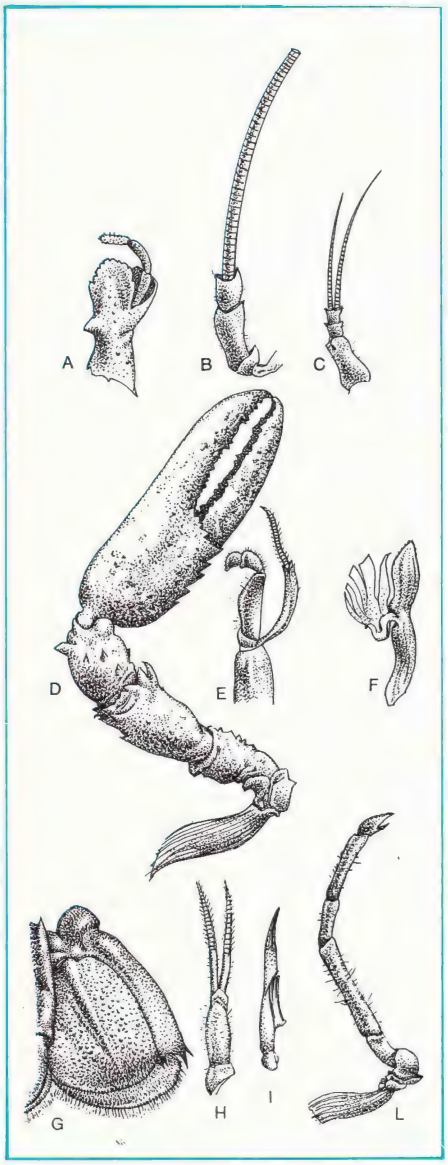
Rechte Seite: Stenopus hispidus, eine rezente Garnele, die an den Küsten Westindiens lebt.

Viele der mit Scheren versehenen Tiere (Chelizeraten) sind zumindest entfernte Verwandte der Schwertschwänze, auch die Spinnen und Skorpione, die sich jedoch erst sehr viel später entwickelt haben.

Krebstiere auf dem Vormarsch

Wir haben gesehen, wie sich im Kambrium die Gliederfüßer in Trilobiten, Chelizeraten und Mandibulaten differenziert haben. Zu den letzteren gehören die Krebstiere, die Tausendfüßer und die Insekten. Im Kambrium wurde die höchste Entwicklungsstufe mit den Krebstieren





Links: Die verschiedenen Körperanhänge von Krebstieren: Mandibel (A), zweite Antenne (B), erste Antenne (C), Extremität mit Schere (D), Maxillenfuß (E), Maxille (F), Schwanzfächer (G), Hinterleibsextremität beim Weibchen (H), Hinterleibsextremität beim Männchen (I), Gangbein (L).

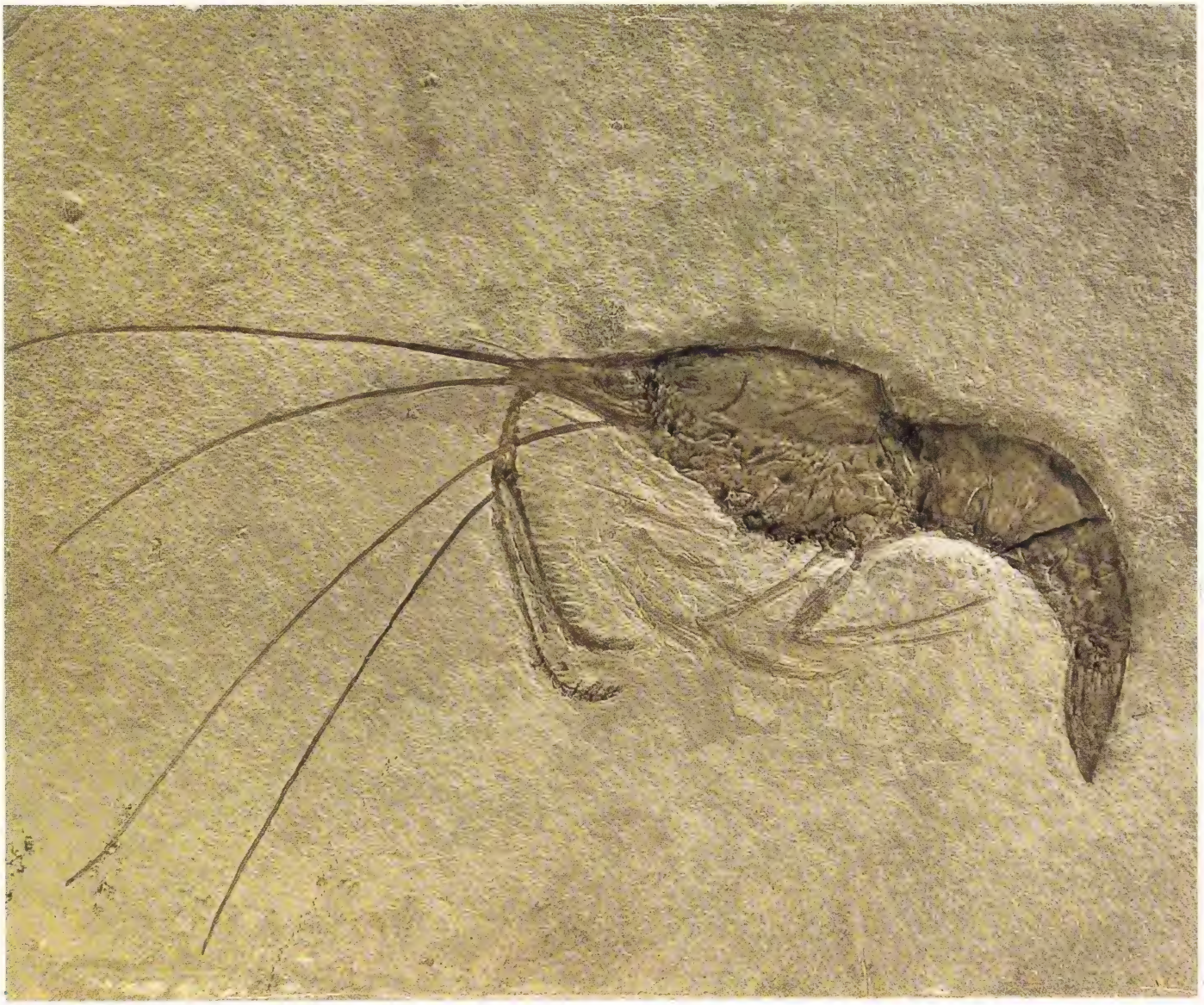
Rechts: Eryon arctiformis, ein fossiler Zehnfußkrebs aus der Oberkreide, gefunden im Solnhofer Schiefer.

erreicht. Die Insekten begannen ihren unaufhaltsamen Aufstieg erst sehr viel später.

Krebstiere gibt es in einer so großen Vielzahl von Formen, daß es schwierig ist, eine gemeinsame Grundstruktur festzusetzen. Allgemeine Kennzeichen sind jedoch zwei Paar Antennen und gespaltene Gliedmaßen.

Heute kommen die Vertreter dieser Klasse in den unterschiedlichsten Größen vor, die von wenig mehr als 1 mm bis 90 cm reichen. Sie tragen entweder einen harten Panzer mit Kalkeinlagerungen oder eine weiche Schale. Ihr Körper ist mehr oder weniger in Segmente unterteilt.

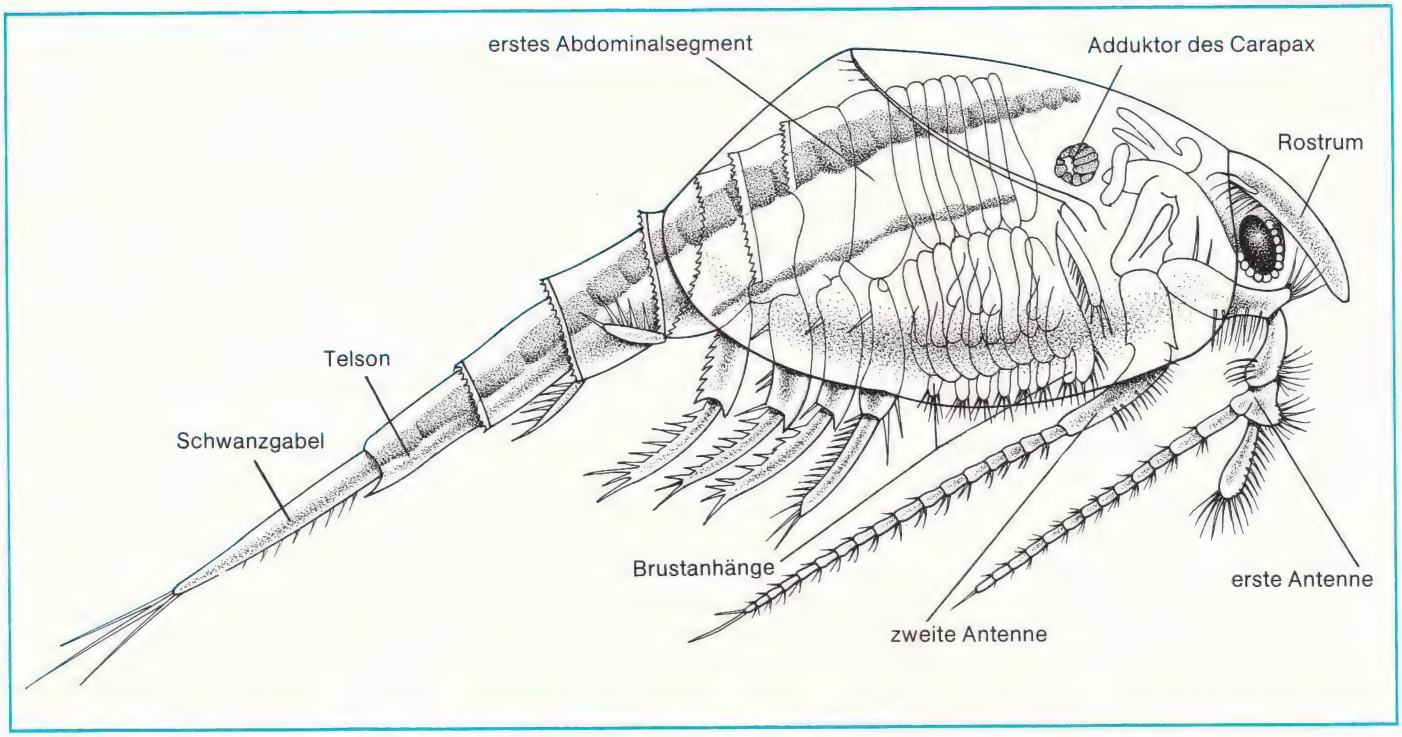
Krebstiere kommen sowohl im Salz- als auch im Süßwasser vor. Im allgemeinen handelt es sich um sehr aktive Tiere, die daher mit ausgezeichneten Sinnesorganen ausgestattet sind, damit sie die Gegebenheiten ihrer Umwelt genau erkennen können. Die ausgewachsenen



Aeger insignis, ein fossiler Krebs, ebenfalls aus dem Solnhofener Schiefer.

Individuen haben seitlich angebrachte Facettenaugen, die manchmal auf Stielen sitzen *(Teleskopaugen).* Die Augen der Larven sind einfach, unpaar und zentral gelegen, manchmal werden sie auch im ausgewachsenen Zustand so beibehalten.

Manche Krebstiere (die Krabben) können Farben unterscheiden. Chemische Sinnesorgane sind in den Antennen konzentriert, aber auch auf die Gliedmaßen und den Körper verteilt. Sie reagieren im wesentlichen auf Geruchs- bzw. Geschmacksstoffe. Tastempfindungen werden über Antennen und zahlreiche Borsten vermittelt. Die *Statozyste,* das Gleichgewichtsorgan, hat eine mehrfache Funktion: Sie enthält nicht nur die sog. *Statolithen,* die dem Tier die Stellung seines Körpers im Raum anzeigen, sondern auch zahlreiche feine, in Flüssigkeit getauchte Sinneshärchen, die ihm helfen, seine Körperbewegungen zu regulieren.



Bauplan von Nebalia bipes, einem etwa 1 cm langen Höheren Krebs unserer Zeit, von dem man annimmt, daß er große Ähnlichkeit mit seinen Vorfahren aus dem Kambrium hat.

Viele Krebstiere bewegen sich abends oder in der Morgendämmerung im Wasser in vertikaler Richtung. Einige Arten werden vom Tageslicht angezogen, andere fliehen es, und in einigen Fällen folgen sie auch jahreszeitlichen Rhythmen.

Viele Arten sind mit Farbpigmenten ausgestattet und können sich dem Bodengrund anpassen, indem sie heller bzw. dunkler werden. Diese Tarnfähigkeit wird durch einen chemischen und einen Nervenmechanismus ermöglicht: Der Gesichtssinn informiert das Nervensystem über die vorhandenen Farben, und das Nervensystem kontrolliert die Verteilung der Pigmente.

So viel über die hochentwickelten Krebse unserer Zeit. Im Kambrium waren sie wesentlich einfacher gebaut und ausgestattet. Es ist der Wissenschaft bereits vor einiger Zeit gelungen, den *Urkrebs* mit ziemlicher Genauigkeit zu beschreiben: klein, stark segmentiert (eine Erinnerung an den Vorfahren Ringelwurm); völlig von einer gegliederten Schale umgeben; der Kopf mit zwei Antennenpaaren; ein Mandibelpaar, zwei Paar Maxillen; zwei Facettenaugen und ein einfaches Auge.

Auf der Grundlage dieser Identifizierung wurde eine 3 mm lange Garnele, die 1955 im Bodenschlamm der Meerenge von Long Island (New York) gefischt wurde, als „lebendes Fossil" erkannt. In den darauffolgenden Jahren fand man drei verwandte Arten an den Küsten Westindiens, Kaliforniens und Japans. Diese Krebstierchen (*Cephalocarida* genannt) haben jedoch einige spezialisierte Eigenschaften ausgebildet, die ihre Vorfahren wahrscheinlich noch nicht besaßen: Da sie nicht schwimmen, sondern in Ritzen leben, sind sie durch Rückentwicklung der Augen blind geworden. Außerdem tun sie sich in ihrer Isolation mit dem „Heiraten" schwer, weil sie kaum geeignete Geschlechtspartner finden; infolgedessen sind sie im Unterschied zum größten Teil der

Eine tropische Krabbe.

übrigen Krebstiere zu Zwittern geworden (jedes Individuum ist zugleich Männchen und Weibchen).

Aus diesen kleinen Krebsen, die mit neunzehn Segmenten versehen sind, von denen neun Gliedmaßen aufweisen, entwickelten sich wahrscheinlich die *Kiemenfußkrebse (Kiemenfüße, Anostraca),* kleine Krustazeen mit blattartigen Anhängen, an denen die Kiemen sitzen. Einige im Kambrium lebende Kiemenfußkrebse erneuerten (zum dritten Mal!) die Erfindung einer zweiteiligen Schale als Schutzapparat, ähnlich der Brachiopodenschale, noch ähnlicher jedoch – wegen der vertikalen Stellung der Klappen – den Schalen der Muscheln. Es handelt sich um *Muschelkrebse* u. a. aus der Gattung Cypris.

Eine andere Unterteilung der Krustazeen ist durch die Unterklasse der *Höheren Krebse (Malacostraca)* gegeben, zu der die Garnelen, Krabben und Langusten gehören. Auch sie tauchen bereits im Kambrium auf und werden durch einige Familien repräsentiert, die bald ausstarben, obwohl sich später über 15 000 verwandte Arten entwickel-

Rechte Seite: Evolutionslinien der Vielzellerstämme. Die unterste Stufe besitzt kein Zölom (sekundäre Leibeshöhle). Die Zölomaten (Leibeshöhlentiere) werden ihrerseits unterteilt in Deuterostomier, bei denen sich aus dem Blastoporus die Afteröffnung entwickelt, und in Protostomier, bei denen sich aus dem Blastoporus die Mundöffnung bildet.

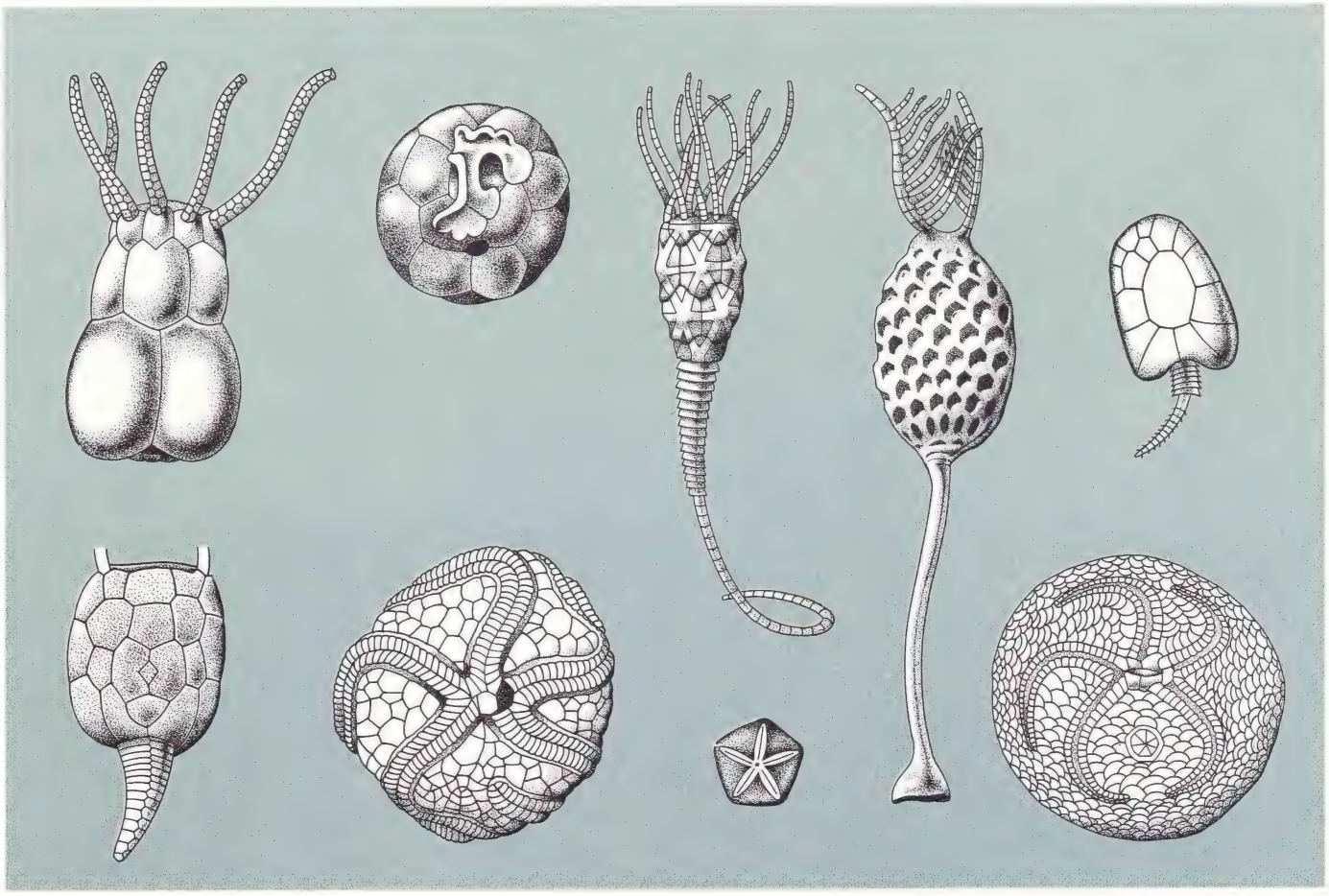
Unten: Rekonstruktion einiger urzeitlicher Stachelhäuter. Das aus Plättchen von Calciumcarbonat bestehende Hautskelett hat durch den Versteinerungsprozeß eine widerstandsfähige Konsistenz angenommen und ist daher gut erhalten.

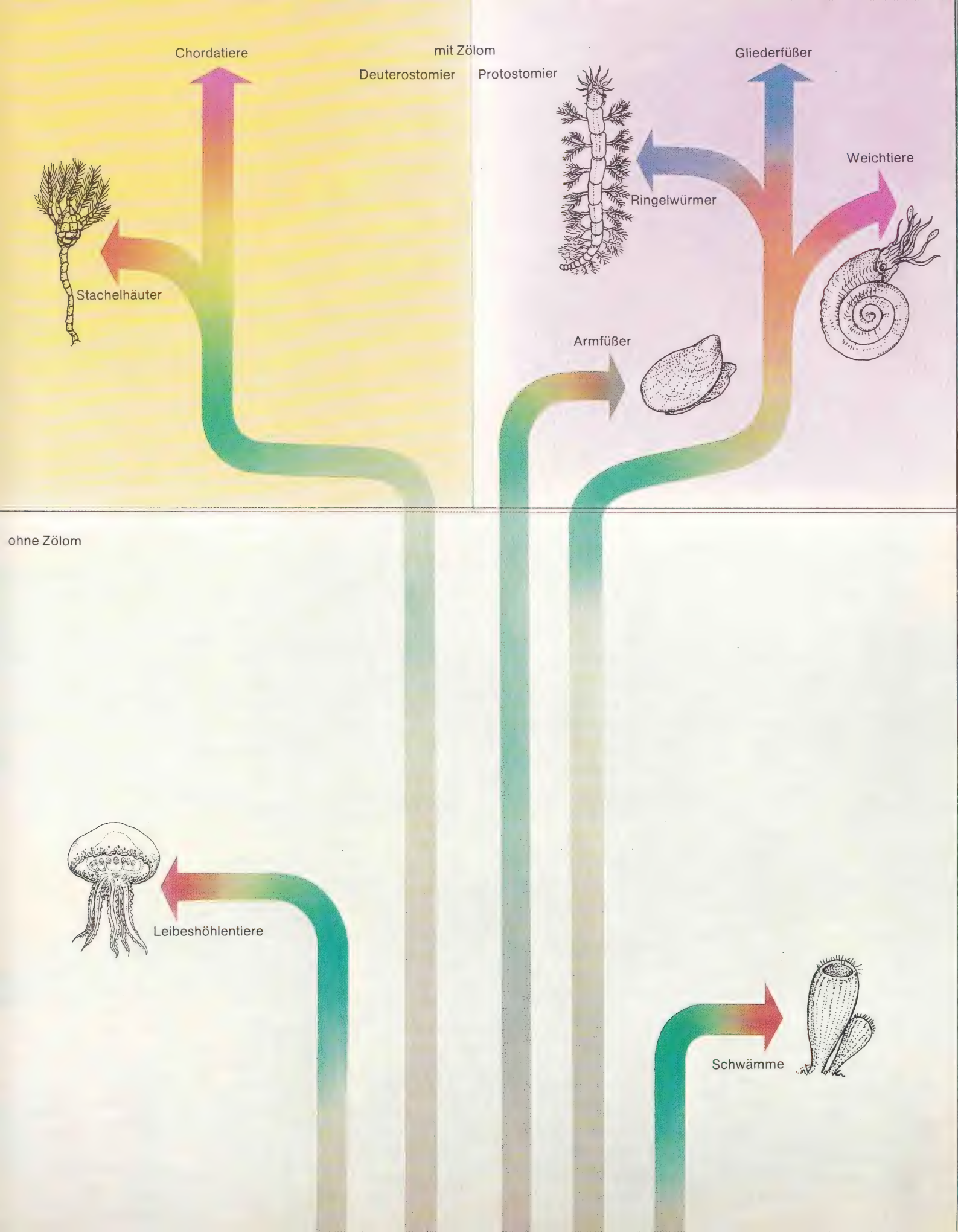
ten. Von den heutigen Malacostraca hat die an den britischen Küsten lebende *Nebalia* wohl die größte Ähnlichkeit mit ihren Vorfahren aus dem Kambrium.

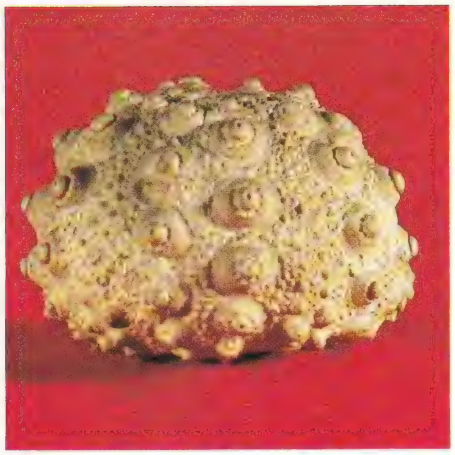
Im Kambrium wurden alle „Evolutionskarten" so viele Male ins Spiel gebracht, daß damit eine großartige Reihe von „Partien" eröffnet wurde. Bis jetzt haben wir gesehen, wie das „Molluskenspiel" und das „Arthropoden-Krustazeen-Spiel" mit so zahlreichen Variationen durchgespielt wurden, daß daraus bereits zu Beginn des Kambriums hochentwickelte Arten entstanden, die unseren heutigen in vielem vergleichbar sind. Aber jetzt müssen wir uns mit einem anderen „Spiel" beschäftigen, das im Kambrium erst in wenigen „Partien" gespielt wurde. Diese Partien waren jedoch entscheidend; denn obwohl das Spiel langsam anlief, endete es – in sehr viel späterer Zeit – mit dem Auftreten des Menschen.

Jemand schlägt einen anderen Weg ein

Um die ersten Akkorde dieser „Symphonie" zu hören, die später eine so bedeutsame Entwicklung genommen hat (nicht nur für uns; denn da der Mensch den Planeten, auf dem er lebt, verändern kann, wurde diese Entwicklung für alle Lebewesen der Erde von Bedeutung), müssen wir zu den *Hohltieren* zurückkehren und zu dem Vergleich zwischen dem Hohltier und dem „Gastrulastadium" der Embryonen höherer Tiere. Wir




mit Zölom
Chordatiere
Deuterostomier
Protostomier
Gliederfüßer
Weichtiere
Ringelwürmer
Stachelhäuter
Armfüßer
ohne Zölom
Leibeshöhlentiere
Schwämme



Fossile Seeigelschalen. Links: Hemicidaris crenularis (mittlerer Jura); rechts: Cyphosoma koenigi (Oberkreide). Beide Exemplare stammen aus England.

haben gesehen, daß das Hohltier bei diesem *„Gastrulastadium"* (Stadium des „kleinen Magens") halt macht, das in der embryonalen Entwicklung anderer Tiere nur ein kurzes Übergangsstadium darstellt und das auf die *Blastulaphase* („Delle im Gummiball") folgt. Die *Gastrulahöhle* ist wie ein kugelförmiges Säckchen; sie wird als „Urdarm" angesehen und besitzt nur eine einzige Öffnung, den *Blastoporus.*

Höher entwickelte Tiere besitzen einen Darm mit zwei Öffnungen: Außer dem Blastoporus verbindet noch eine zweite Öffnung den Darm mit der Außenwelt. Um die Darmhöhle legt sich eine weitere Höhle, das *Zölom.* Brachiopoden, Anneliden, Mollusken und Arthropoden, d. h. also all jene Tiere, die wir bis jetzt betrachtet haben, sind *Zölomaten (Leibeshöhlentiere)* und besitzen zwei Darmöffnungen. Der Blastoporus des Embryos wird bei ihnen zur Mundöffnung *(Protostomier).*

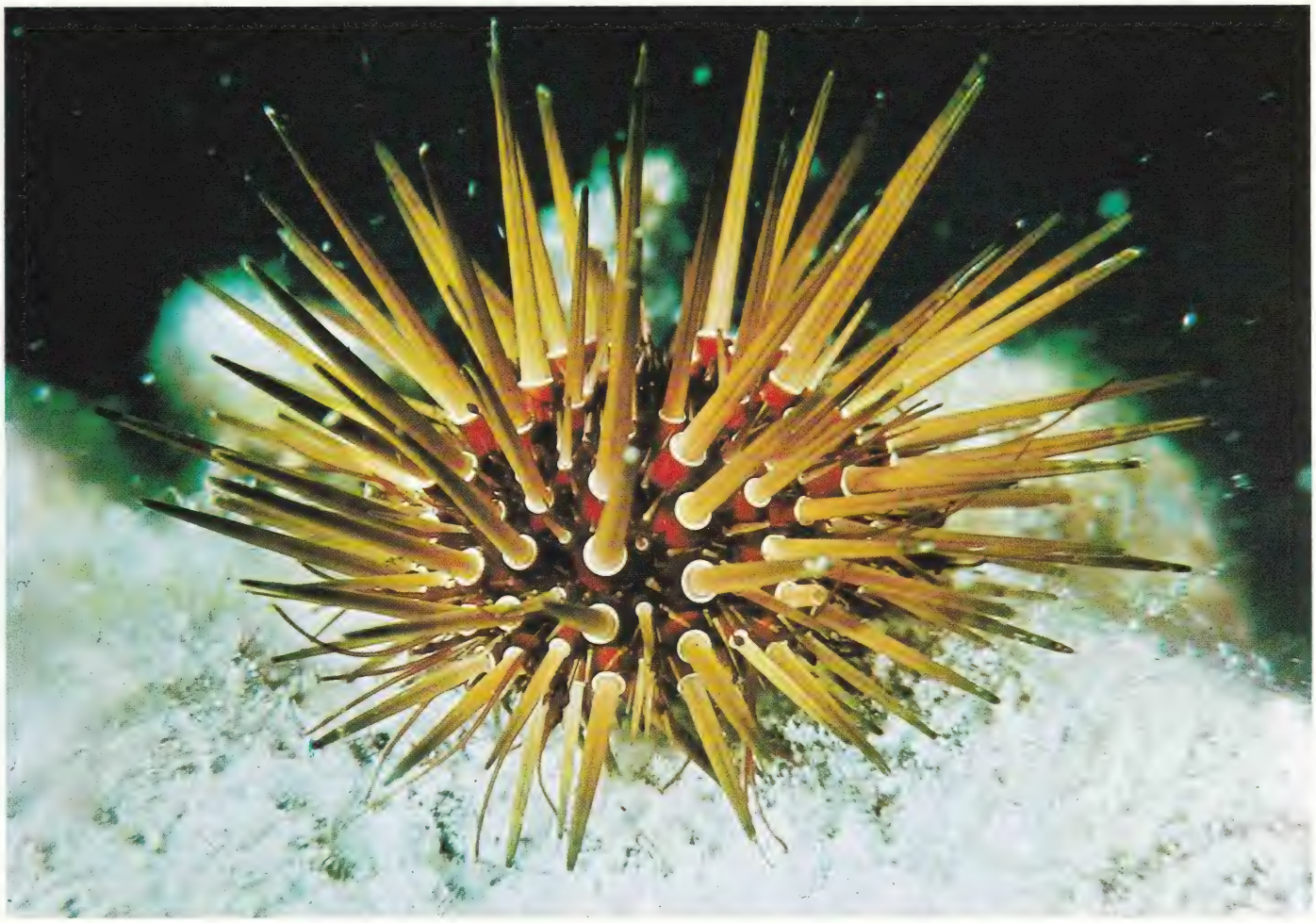
Im Kambrium taucht jedoch noch ein neuer Grundtypus auf, der sich in den folgenden Erdzeitaltern auf höchst interessante Weise weiterentwickelt. Es handelt sich um Tiere, die zwar mit einem Zölom und zwei Darmöffnungen versehen sind, bei denen jedoch der Blastoporus des Embryos nicht zur Mund-, sondern zur Afteröffnung wird, während die Mundöffnung sich am entgegengesetzten Ende ausbildet *(Deuterostomier).*

Schematisch können wir sagen, daß die vielzelligen Tiere, die uns bis jetzt begegnet sind, entweder nur eine einzige Öffnung besaßen oder aber zuerst den Mund und dann den After ausbildeten. Jetzt stoßen wir auf Formen, die während des Präkambriums und des Kambriums zwar nicht die gleiche Komplexität erreichten, dafür aber dadurch gekennzeichnet waren, daß sie sich in umgekehrter Richtung entwickelten (erst der After, dann der Mund). Das ist für uns von Wichtigkeit, da sich daraus die Wirbeltiere ableiten.

Dieser große Ast am Baum der Evolution, der im Laufe späterer Verzweigungen bis zu uns führen wird, bildete zunächst Nebenzweige aus, die mit einer großen Anzahl von Individuen bis auf unsere Tage überlebt haben: die *Stachelhäuter* oder *Echinodermata,* die mit rund 6 000 Arten in allen Meeren verbreitet sind und deren bekanntester Vertreter der unverwechselbare Seestern ist.

Oben: Antedon mediterranea, eine Seelilie aus dem Mittelmeer. Die Seelilien sind die ältesten unter den heute lebenden Stachelhäutern. Im Paläozoikum entwickelten sich diese festsitzenden Stieltiere zu höchstem Artenreichtum. Heute kennen wir nur noch rund 80 Arten.

Abbildung auf den beiden folgenden Seiten: Gegen Ende des Kambriums sind die Meeresböden dicht bevölkert. Die eleganten Stachelhäuter haben ihren Einzug gehalten. Mit ihnen beginnt eine Evolutionslinie, die über die Chordatiere schließlich zu den Wirbeltieren und zum Menschen führt.



Oben: Echinometra, ein rezenter Seeigel. Die Seeigel besitzen einen besonderen Kauapparat, „Laterne des Aristoteles" genannt.

Die heutigen Stachelhäuter zeigen in ausgewachsenem Zustand alle eine fünfstrahlige Symmetrie, während sie im Larvenstadium bilateralsymmetrisch (zweiseitig-symmetrisch) sind. Das läßt vermuten, daß es einen urtümlichen Stachelhäuter gegeben hat, der während seines ganzen Lebens eine zweiseitige Symmetrie aufwies. Die Fünfstrahligkeit könnte sich dann im Verlauf der Evolution als Folge des Übergangs zur sessilen (festsitzenden) Lebensweise der erwachsenen Tiere entwickelt haben.

Bei den *Seesternen (Asterias)* ist die Anzahl und Größe der Arme sehr unterschiedlich: Sie reicht von 5 bis 40 Armen, die eine Länge von wenigen Zentimetern bis knapp einen Meter erreichen können. Seesterne nutzen den veränderbaren Wasserdruck in einem ihren Körper durchziehenden komplizierten Wassergefäßsystem zur Fortbewegung, indem sie ihre zahlreichen mit Saugscheibchen versehenen Füßchen durch unterschiedliche Wasserfüllung im Wechsel aus- und wieder einstülpen.

Rechte Seite: Asterias rubens, der Gemeine Seestern aus den europäischen Meeren. Er ernährt sich vor allem von Muscheln, die er mit Hilfe seiner saugnapfbewehrten Arme öffnet.

Seesterne ernähren sich vom Aas kleiner Tiere, sie können aber auch lebende Krebstierchen fangen und fressen; einigen gelingt es sogar, Austernschalen zu öffnen. Ist die Beute für ihren kleinen Körper zu groß, so stülpen sie ihren Magen darüber und verdauen die Nahrung

außerhalb des Körpers. – Am Ende eines jeden Arms sitzt ein Fühler und darunter ein einfach gebautes, kleines Auge. – Es gibt Seesterne mit Geschlechtertrennung und solche, die zwittrig sind; manche sind als Jungtiere männlich und werden im Alter weiblich.

Im allgemeinen sind die Körper der Stachelhäuter mit Kalkplatten besetzt und hinterlassen daher gut erkennbare Fossilien. In England hat man Fossilien gefunden, die noch eine langgestreckte und nicht abgeflachte Form besitzen, also dem Larvenstadium ähnlich sind, jedoch bereits eine fünfstrahlige Symmetrie aufweisen. In der ČSSR wurden dagegen Fossilien entdeckt, die bereits abgeflachter sind. In beiden Fällen handelt es sich um Fossilien aus dem Kambrium.

Es scheint, daß man auch einige *Seegurken (Holothurien)* auf das Kambrium zurückführen kann. Die Seegurken gehören ebenfalls zu den Stachelhäutern und besitzen eine fünfstrahlige Symmetrie, aber ihre Form ist langgestreckt, und die Mundöffnung sitzt, anders als bei den Seesternen, am vorderen Ende.

Eine Rhabdopleurakolonie; im Vordergrund ein stark vergrößertes Einzeltier, von der Seite gesehen. Das Hauptmerkmal sind die tentakeltragenden Armpaare. Die Vertreter von Rhabdopleura gehören zur Klasse der Flügelkiemer oder Pterobranchia.

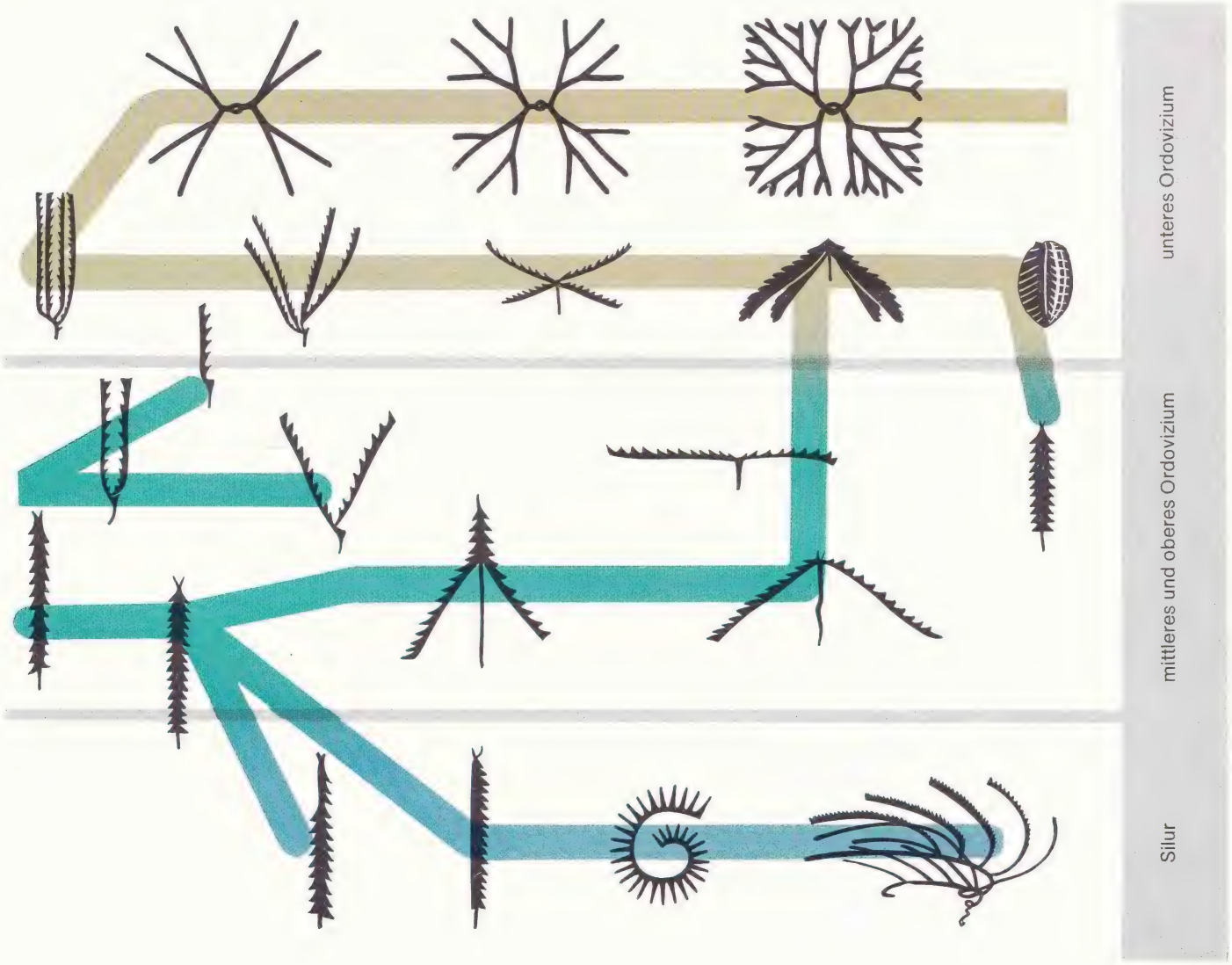
Graptolithen: geheimnisvolle „Schriftsteine“

Eine geheimnisvolle Hinterlassenschaft des Kambriums stellen die *Graptolithen* dar, fossile Reste ausgestorbener Organismen, die in Kolonien vereint wahrscheinlich als Teil des Planktons lebten. Der mit griechischen Wortelementen gebildete Name bedeutet etwa „Schriftsteine“; denn lange Zeit wurden sie als Mineralien angesehen und erst relativ spät als Tierfossilien erkannt. Ihre kleinen, langgestreckten Skelette erinnern vage an die Zeichen der Keilschrift.

Daß die Graptolithen von Tieren stammen, erkannte man im Jahr 1821, dennoch wußte man bis zum Ende des vorigen Jahrhunderts nur sehr wenig über ihre äußere Gestalt und noch weniger über ihren inneren Aufbau. Erst das Auffinden einiger ausgesprochen gut erhaltener Exemplare, die nicht während des Versteinerungsprozesses zerquetscht worden waren, ermöglichte es in den folgenden Jahren, die besondere Struktur der Graptolithen genau zu studieren.

1948 entdeckte man eine lebende Tierform, *Rhabdopleura,* die mit den Graptolithen eine auffallende Ähnlichkeit zeigte. Die heutige

Entwicklung und Formenreichtum der Graptolithen, unterschieden nach der Anzahl und Stellung ihrer Zweige, der sog. Rhabdosomen, die becherförmige Gebilde (Theken) trugen, in denen jeweils ein Einzelindividuum lebte.



Rhabdopleura lebt in der Nähe der europäischen Küsten, obwohl fast alle ihre Verwandten nur auf der südlichen Halbkugel vorkommen. Sie lebt auf dem Meeresgrund in großen Tiefen und bildet Kolonien von Einzelwesen, die in kleinen Röhren stecken. Sie entwickeln sich aus einer Larve, die sich nach ihrer Festsetzung in nicht völlig getrennte Individuen unterteilt; tatsächlich werden die einzelnen Röhrchen ähnlich wie bei einer Pflanze von einem „Stengel" zusammengehalten.

Rhabdopleura hat keine Kiemen, da alle ihre Zellen die Fähigkeit besitzen, den Gasaustausch mit der Umwelt vorzunehmen. Ihre Eingeweide sind U-förmig gebogen und enden in einem After, der aus dem Röhrenrand austritt, unmittelbar neben den zahlreichen bewimperten Tantakeln, die von zwei Armen ausgehen und dem Mund das zu filtrierende Wasser zustrudeln. Die schwimmenden Larven haben ein Zölom und entwickeln den After früher als den Mund.

Die Graptolithen des Kambriums bezeugen mit ihren zarten Formen, deren Abdrücke im Schiefer erhalten sind, daß es in dieser frühen Epoche Lebewesen gegeben hat, die mit der urtümlichen Rhabdopleura von heute verwandt waren. Unter den bedeutendsten fossilen Resten dieser Gruppe sind *Myolithellus* und *Adekunbiella durhami* zu nennen, die in England bzw. in Oregon gefunden wurden.

Im übrigen zeigt die Klasse der *Pterobranchier (Flügelkiemer),* zu denen man heute Rhabdopleura zählt, einige sehr bezeichnende Merkmale: Die hintere Wand der Verdauungsröhre, unmittelbar nach dem Mund, weist eine Ausstülpung auf, die man auch beim Gaumen des Wirbeltierembryos antrifft. Außerdem besteht das Nervensystem dieser Tiere aus zwei Strängen, von denen einer an der Bauchseite, der andere

Fossile Graptolithengruppen (Monograptus lobiferus und Demirastrites triangulatus) aus dem deutschen Silur. Man nimmt an, daß sie eine planktontische Lebensweise hatten und mit der Strömung trieben. Diese und andere Gattungen lebten vorzugsweise während des Ordoviziums und des Silurs.

an der Rückenwand entlangläuft und damit dem Rückenmark der Wirbelsäule ähnlich ist.

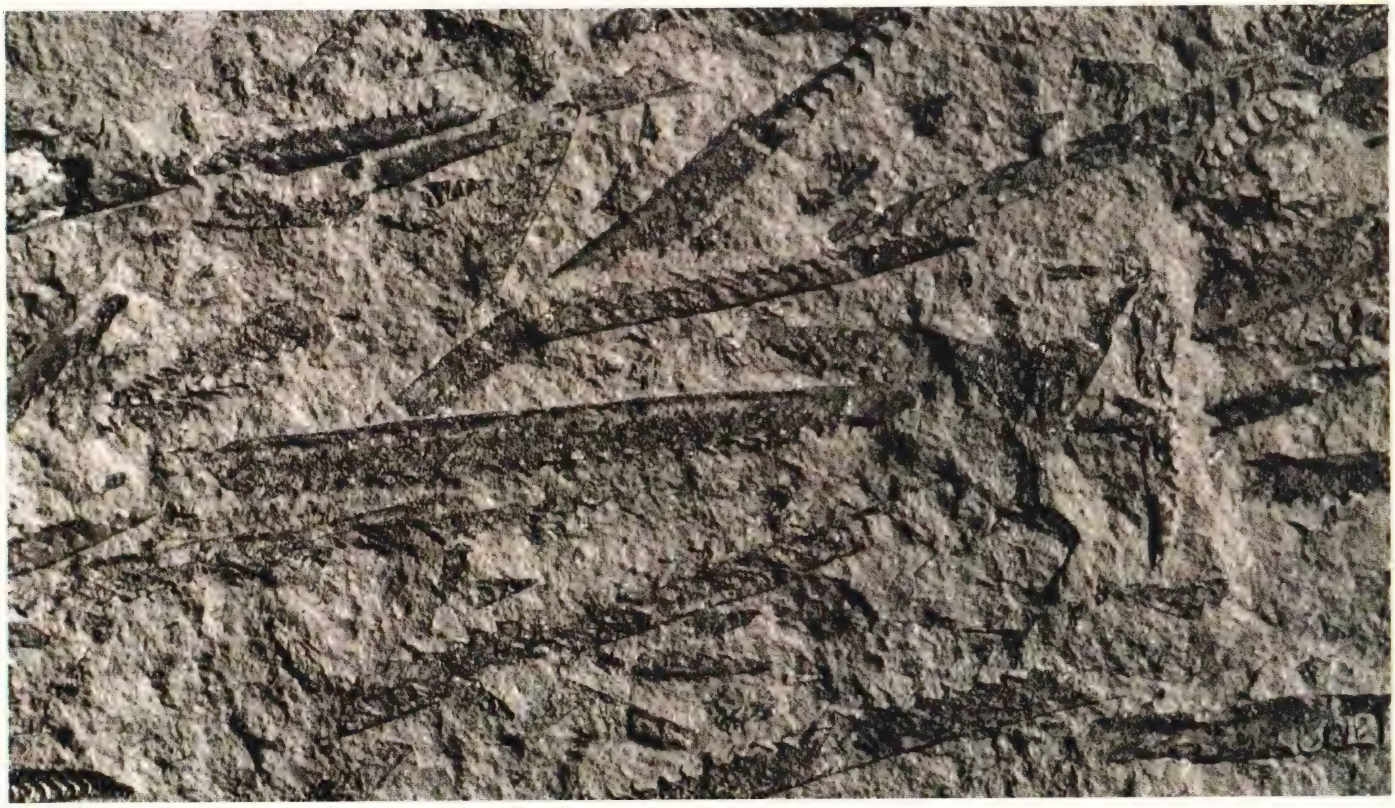
So gibt es eine lange Kette von Ähnlichkeiten und verwandtschaftlichen Beziehungen, welche die Stachelhäuter mit den Graptolithen und die Graptolithen mit den Rhabdopleuren verbindet, wobei letztere auf Grund der eben erwähnten, zwar nicht auffallenden, doch grundlegenden Merkmale an die urtümlichen Chordatiere erinnern, von denen die Wirbeltiere ihren Ursprung nahmen.

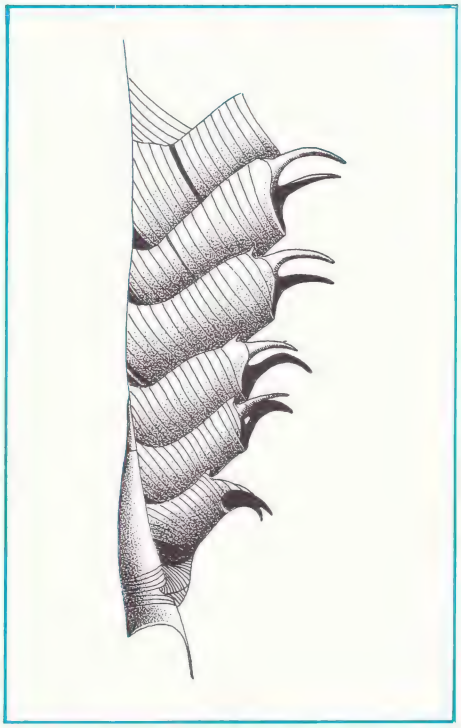
Bereits im Kambrium können wir also die ersten unsicheren Schritte in einer Richtung erkennen, die später zum Höhepunkt in der Entwicklung der Tiere führen sollte. Diese unsicheren Schritte entdecken wir jedoch nicht bei den Tieren, die bereits im Kambrium hohe Entwicklungsstufen erreichten, sondern vielmehr bei jenen, die lange an urtümlichen Formen festhielten. Was zählt, ist also nicht die Geschwindigkeit, sondern die eingeschlagene Richtung der Entwicklung.

Wir dürfen daraus nun nicht folgern, daß man die Graptolithen als ein Evolutionsstadium betrachten kann, das zwischen den Wirbellosen und den Wirbeltieren vermittelt. Eher geben sie uns einen Hinweis auf etwas, das man als mißlungenes Experiment ansehen könnte, wenn die Evolution eine genaue Richtung und ein ganz bestimmtes Ziel hätte. Statt dessen haben wir es hier mit „Zufällen" zu tun. Wir können also sagen, daß die Serie von zufälligen Ereignissen, die später zum Ursprung der Chordatiere, der Wirbeltiere und des Menschen geführt hat, eine Nebenentwicklung hatte, die mit den Graptolithen ihr Ende fand.

Auf dem Weg, der von einem Urvolvox ausging, sahen wir zuerst die Schwämme (die nur aus zwei Zellschichten bestanden), dann die

Monograptus chimaera, Graptolithen aus dem Silur. Die Graptolithen werden vor allem in schwarzem Schiefer und auf begrenztem Raum gefunden. Wahrscheinlich wurden die im Wasser lebenden Kolonien nach ihrem Absterben rasch von Bakterien zersetzt; die im schwarzen, sauerstoffarmen Schlamm lebenden konnten dagegen von aeroben Bakterien nur in ihren Weichteilen zerstört werden.





Oben: Detail einer Graptolithenkolonie (Rhabdosom), bei der die Theken deutlich sichtbar werden.

Rechts: Die Graptolithen existierten vom mittleren Kambrium bis zum unteren Karbon. Die meisten von ihnen lebten planktontisch. Dazu schlossen sich manchmal mehrere Rhabdosomen zu einer Halbkugel zusammen. Die am Meeresgrund lebenden Graptolithen bildeten dagegen stark verzweigte Kolonien. Diese Gruppen tauchten zuerst auf und überlebten die planktontischen Arten.

Hohltiere (die eine Leibeshöhle mit nur einer Öffnung besaßen). Danach erlebten wir Organismen, die zwar mit drei Zellschichten ausgestattet waren, dafür aber noch keine sekundäre Leibeshöhle (Zölom) hatten. Schließlich begegneten uns solche Tiere, die ein Zölom und einen Darm mit zwei Öffnungen besaßen und bei denen der Urmund zum Mund wurde. Das Kambrium ging zu Ende, bevor wir uns von jenen urtümlichen Organismen verabschieden konnten, die mit drei Zellschichten, einer sekundären Leibeshöhle und einem Darm mit zwei Öffnungen ausgestattet waren und bei denen der Urmund zum After wurde.

Jede der großen Tiergruppen, mit denen wir eine Strecke unseres Evolutionswegs gemeinsam zurückgelegt haben, entwickelte sich auf

strukturaler und funktionaler Ebene zu differenzierten Lebewesen. Im großen Tiegel des Kambriums wurden die höchsten Entwicklungsstufen von den Mollusken und den Krustazeen erreicht. Die Gruppe, die sich absonderte und die am Ende des Kambriums noch jene Geschöpfe umfaßte, die später unsere Vorfahren werden sollten, bestand aus kleinen, primitiven Lebewesen, die sich im Vergleich zu jenen prächtigen, bereits stark differenzierten Kreaturen sicher sehr bescheiden ausnahmen.

Diese Lebewesen hatten noch keine „Partie" gewonnen, doch hatten sie ihre ersten Karten gut ausgespielt und besaßen noch eine Menge anderer, um im Spiel zu bleiben. Darauf allein kam es an.

Die Erde im Ordovizium und die ersten Wirbeltiere

Eiskappen in den Wüsten Nordafrikas

Unter glühendem Sand und herumliegenden Steinen bergen die alten Felsen der endlos weiten Sahara Erinnerungen an eines der außergewöhnlichsten Ereignisse der Geschichte der Erde: In weit zurückliegenden Zeiten befand sich der Südpol der Erde nördlich des heutigen Äquators, in Westafrika. Ein großer Teil des schwarzen Kontinents lag unter einer Eiskappe, ähnlich wie heute die Antarktis. Kilometerdicke Eisbarrieren erstreckten sich in das Meer hinaus, wo sich heute die Wüste Sahara befindet, und brachen in Eisberge auseinander. Dies geschah vor rund 450 Millionen Jahren.

Bis vor kurzem noch wußte niemand etwas über diese so phantastisch anmutenden Vorgänge. Erst 1970 gelang einer Gruppe von Geologen anhand von Funden aus dieser Gegend der Beweis, daß diese Ereignisse tatsächlich so stattgefunden haben. Ihre Arbeit wurde allerdings dadurch erschwert, daß das Untersuchungsmaterial über Gebiete verstreut war, in denen Untersuchungen Schwierigkeiten bereiten. Aus diesem Grund blieben alle diese Tatsachen bis vor kurzem unbekannt.

Stellen wir uns einen Augenblick lang eine Eiskappe vor, und versuchen wir uns die Eiskappe als das auszumalen, was sie wirklich ist: ein Strom von Eis, der sehr, sehr langsam fließt, der sich jedoch, obwohl er ununterbrochen von den Bergspitzen her gespeist wird, in den Tälern, durch die er fließt, verliert. Da er massiv ist, formt er sein eigenes Strombett, das er glättet und mit Furchen durchzieht. Er trägt auch Schlamm und Gestein mit sich, die schließlich große Hügel bilden. Und dies sind dann auch die Indizien, auf die sich die These gründet, daß in Nordafrika urzeitliche antarktische Eiskappen existierten: glatte, gefurchte und gestreifte Felsen sowie wüstes Ödland von gehärtetem Schlamm und Kieselgestein. Die geologischen Untersuchungen dieser „Materialien" erstreckten sich über einen Zeitraum von acht Jahren, von 1962 bis 1970.

In den Meeresablagerungen, in die hinein Schlamm und Schutt der Eisbarrieren abgesunken waren, fand man außerdem eine Reihe von Fossilien, darunter viele Trilobiten. Diese Gliedertiere starben vor 185

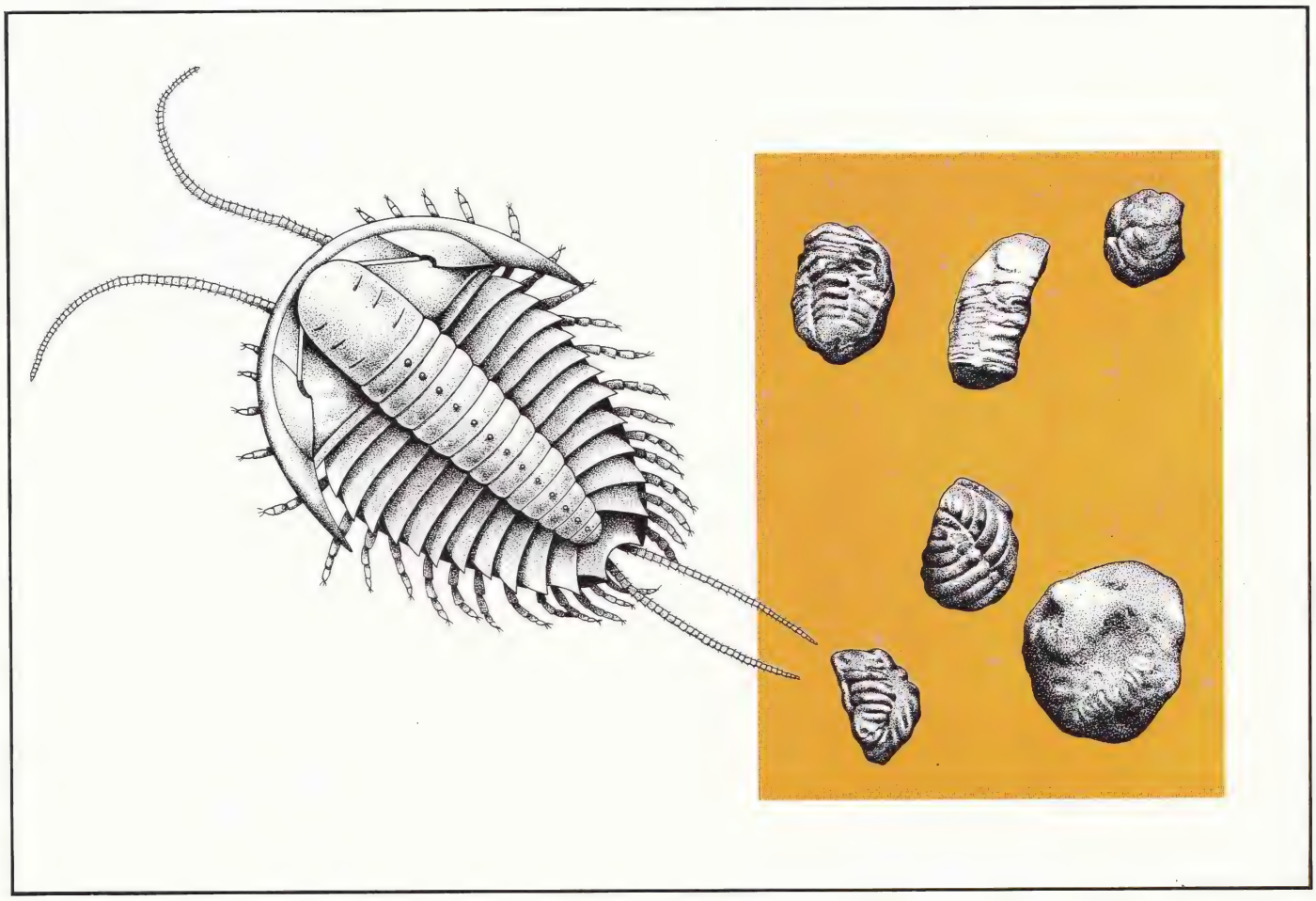
So etwa sah die nordafrikanische Landschaft vor 450 Millionen Jahren aus. Die Aufnahme zeigt eine Eiskappe im Kongsfjord an der Westküste Spitzbergens.

Das Eis hat tiefe Furchen in die Felsen eingegraben, die hier aus dem Sand der Sahara in Südostalgerien (Tassili) aufragen. Sie belegen die Wirkung der Eiskappen vor 450 Millionen Jahren.

Millionen Jahren aus. Die Art von Trilobiten, die man in den Ablagerungen gefunden hat, gehörten offenbar dem oberen Ordovizium an. (Das *Ordovizium* war, wie wir bereits wissen, eine relativ lange Periode in der Erdgeschichte. Es umfaßte die Zeit von vor rund 500 bis 430 Millionen Jahren.) Anhand dieser Trilobiten lassen sich die Eiskappen von Nordafrika ziemlich genau in eben die Zeit von vor rund 450 Millionen Jahren datieren.

Die Polwanderungen in der Geschichte der Erde

Spuren der „afrikanischen Antarktis" aus der Zeit vor oder nach dem oberen Ordovizium wurden niemals gefunden. Dies zeigt, daß es sich um ein für das Oberordovizium selbst typisches Phänomen handelt; sie formte sich in dieser Periode und schmolz auch wieder in ihr. Manchem mag die Vorstellung, daß eine Polareiskappe entsteht und wieder verschwindet, etwas seltsam erscheinen; aber an solche scheinbaren



Fossile Überreste von Trilobiten aus den Saharafelsen, wohin das Meer sie in der Zeit der großen Eiskappen geschwemmt hatte. Links: Vollständige Rekonstruktion eines Trilobiten.

Seltsamkeiten müssen wir uns eben gewöhnen. Die meisten Menschen denken bei Polargebieten sofort an Schnee und Eis. Seit nämlich Menschen die Polargebiete erforschen, kennen sie sie nur in diesem Zustand. Davon auszugehen, wäre aber für unser Vorhaben nicht besonders nützlich. Wir kämen auf diese Weise nicht zum Verständnis der Geschichte der Lebewesen und zu Einsichten über die Umgebung, in der die Lebewesen sich entwickelt haben. Tatsächlich sind gefrorene Eiskappen ein vorübergehendes Phänomen. Sie haben sich in vorgeschichtlichen Zeiten mehrfach gebildet, um hernach wieder zu verschwinden. Dies zeigt zugleich, daß das Klima auf unserem Planeten in der erdgeschichtlichen Vergangenheit ungeheure Wandlungen durchgemacht haben muß.

Für unsere Begriffe sind die öden Eiswüsten des antarktischen Subkontinents und die riesigen Eiskappen Grönlands völlig normal. Der Eindruck trügt. Im Laufe ihrer langen Geschichte besaß die Erde – im Verhältnis zur absoluten zeitlichen Dauer dieser Geschichte – fast niemals Polareiskappen. Sie sind nicht nur ein vorübergehendes, sondern auch ein außerordentliches Phänomen. Die Geologen nennen die Epochen, in denen sich die Eiskappen bildeten, *Eiszeiten.* Da die heutige Antarktis in diesem Sinne nicht „normal" ist, können wir daraus folgern, daß wir uns in einem Eiszeitalter befinden oder ein solches

Die Antarktis heute. Die ungeheure Eiskappe, die auf diesem Kontinent lagert, ist ein Überbleibsel der Vereisungen aus jüngster Vergangenheit.

gerade hinter uns haben. Dies entspricht genau den Tatsachen: Unsere Urahnen erlebten die volle klimatische Härte der großen Vergletscherungen.

Die Pole der Erde lagen nicht immer an der Stelle, an der sie heute liegen; sie verlagerten sich vielmehr allmählich über Ozeane und Kontinente. Ein Beispiel einer solchen Verlagerung haben wir gerade kennengelernt. Andere werden folgen. Es gab aber nicht nur grundlegende Veränderungen klimatischer Art, die mit solchen gelegentlichen Polverschiebungen und den sich daraus ergebenden Eiskappenbildungen parallel liefen.

Die Tatsache, daß kein Gebiet der Erde seine Lage in bezug auf die Pole dauernd behielt, brachte auch andere Veränderungen mit sich. Dies machte natürlich die Klimaveränderungen selbst sehr kompliziert und hatte im Verlauf der Stammesgeschichte bedeutende Folgen für alle Lebewesen der Erde.

Eine afrikanische Antarktis

Da wir nun wissen, wie unbeständig polare Eiskappen sind, wenden wir uns wieder der Glazialperiode im Ordovizium zu, um mehr über die Position der Pole unserer Erde und die verschiedenen Klimazonen jener Zeit zu erfahren.

Unser Problem ist, daß unsere heutige geographische Situation weit von derjenigen entfernt ist, die in jener Vorzeit galt. Wie wir aus dem ersten Band dieser Serie wissen, erfuhr die Erdoberfläche gewaltige Umbildungen, bevor sich *Pangäa* bildete, der „Superkontinent", der alle heutigen Kontinente als geschlossener Block vereinte. Pangäa existierte vor rund 200 Millionen Jahren. Die ordovizische Periode dauerte doppelt so lange wie die Zeit, in der sich Pangäa bildete. Pangäa war in dieser frühen Zeit der Erdgeschichte noch unvollkommen. Sie umfaßte Afrika, Südamerika, Indien, Australien und die Antarktis. Nördlich dieser ungeheuren Landmasse gab es zwei eigenständige Kontinente aus den Gebieten des heutigen Nordamerika, Europa und Asien. Zwischen den nördlichen Blöcken und der südlichen Landmasse, ungefähr auf der Höhe des heutigen Äquators, erstreckte sich der Ozean. Es gab also eine Verbindung zwischen Afrika und Südamerika an der Stelle, an der sich heute der Golf von Guinea und die vorspringende Nordostküste Brasiliens befinden. Natürlich waren Gliederung und Oberfläche des Landes damals völlig anders als heute.

Jetzt können wir endlich die beiden *Erdpole* für diese Zeit lokalisieren. Dabei ergibt sich eine Überraschung: Die *antarktische Eisregion* erstreckte sich nämlich über Brasilien hin bis zu etwa der Stelle, an der Südamerika und Afrika ineinanderpaßten. Wo sich heute der unend-

Vor 450 Millionen Jahren waren Afrika und Südamerika verbunden, wie wir in dieser Darstellung sehen. Ockerfarben: das Land, das sich schon gebildet hatte; blau: die Meere und Ozeane. Die Pfeile zeigen die Richtung an, in welche die Eiskappen sich im Ordovizium bewegten. Innerhalb des weißen Kreises: Umriß des antarktischen Kontinents heute.

Die Eiswüsten der heutigen Arktis. Im Ordovizium herrschte in dieser Gegend ein tropisches Klima.

liche, grüne Dschungel dehnt, bliesen eisige Winde über vereiste Plateaus, die dort etwa so wüst und endlos waren wie der heutige Tropenwald.

Der *Nordpol* auf der anderen Seite des Globus konnte keine derartigen Spuren hinterlassen: Er lag im Pazifischen Ozean, den es schon damals gab (nur eben erheblich ausgedehnter als heute). So

waren die Eiskappen des Nordpols ohne den Unterbau eines Kontinents und hatten offenbar eine gewisse Ähnlichkeit mit den Eismassen, die heute das Nordpolarmeer bedecken.

Die Rotationsachse der Erde befand sich also zwischen dem Pazifik und dem heutigen Nordwestafrika. Dies hatte bedeutende Konsequenzen, wie man sich leicht ausmalen kann, wenn man einen Globus aus seiner Befestigung nimmt und seine Achse verstellt, während er sich dreht. Der Äquator lief über das heutige nördliche Eismeer von Sibirien bis Nordamerika. Dabei befanden sich natürlich diese Landmassen in einer ganz anderen Lage als heute: Es waren äquatoriale, tropische Regionen, wie wir von Fossilien aus der ordovizischen Periode wissen, die auf ein heißes Klima hindeuten.

Die Wirbeltiere und ihre Eigenschaften

In den Meeren, welche Teile der Sahara und Brasiliens bedeckten, trieben gigantische Eisberge. Zur selben Zeit entwickelten sich in den wärmeren Gegenden der Erde (im Gebiet der heutigen Arktis) die ersten fischartigen Lebewesen. Es waren die Vorläufer der eigentlichen Wirbeltiere, die sich später überall ausbreiteten. Sie waren noch sehr winzig und für das ökologische Gleichgewicht damals fast bedeutungslos. Gleichwohl stellen diese „Fische" einen entscheidenden Wendepunkt in der Erdgeschichte dar.

Zu den Wirbeltieren gehören die Säugetiere, die Vögel, die Reptilien (z. B. Krokodile und Schlangen), die Amphibien (z. B. Frösche) und die Fische. All diese verschiedenen Gruppen bilden selbständige systematische Klassen mit Ausnahme der Fische, die ihrerseits aus verschiedenen Klassen (Knochenfische und Knorpelfische, nach manchen Systematikern auch die Kieferlosen) bestehen. Den Grund für diese weitere Unterteilung der Fische erfahren wir im weiteren Verlauf dieses Kapitels.

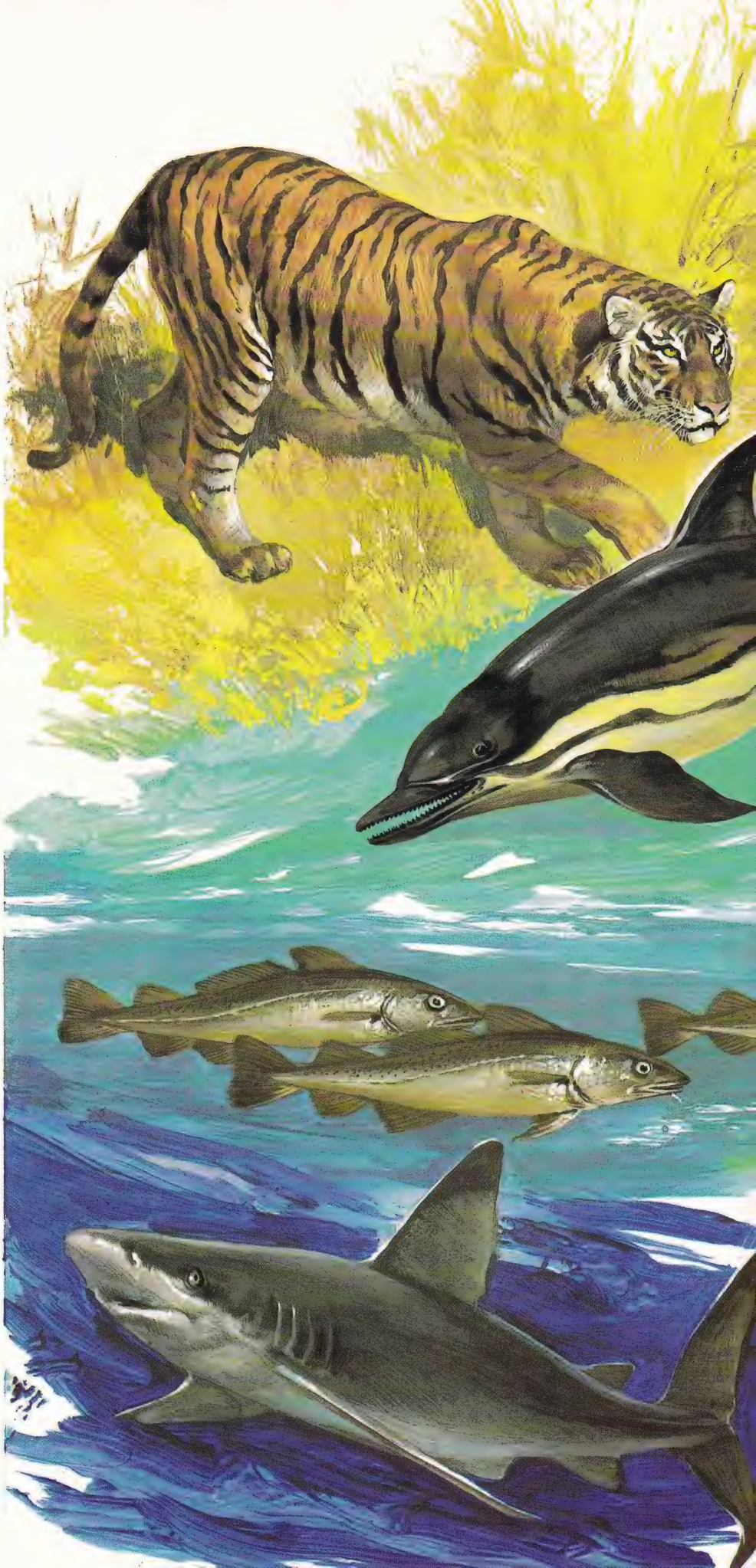
Der Körper eines *Wirbeltiers* wird durch eine knöcherne Achse gestützt, die aus zahlreichen hintereinanderliegenden Einzelknochen (Wirbel) besteht. Diese Achse, die auch der Mensch besitzt, ist die *Wirbelsäule.*

Wirbeltiere besitzen nicht nur alle eine Wirbelsäule, sondern auch eine Anzahl weiterer Knochen, die jeweils ihr *Skelett* bilden. Am Vorderende (beim Menschen: am oberen Ende) befindet sich der Schädel, der das *Gehirn,* den komplexesten und höchstentwickelten Teil des Körpers, umschließt und schützt. Auch das Nervensystem besitzt eine eigene Achse, das *Rückenmark,* welches in den sog. Wirbelkanal (in der Wirbelsäule) eingebettet ist.

Natürlich kann man dies alles, und sogar viel besser, in jedem Lehrbuch der zoologischen Anatomie nachlesen. Man kann sich diese Kenntnisse auch auf praktische Weise aneignen, wenn man einen Fisch, bevor man ihn verspeist, zerlegt und etwas genauer untersucht. Wir sollten dabei besonders auf die Details des Knochengerüsts achten, das dem Organismus Halt gibt, die Weichteile des Körpers schützt und die Fortbewegung erleichtert.

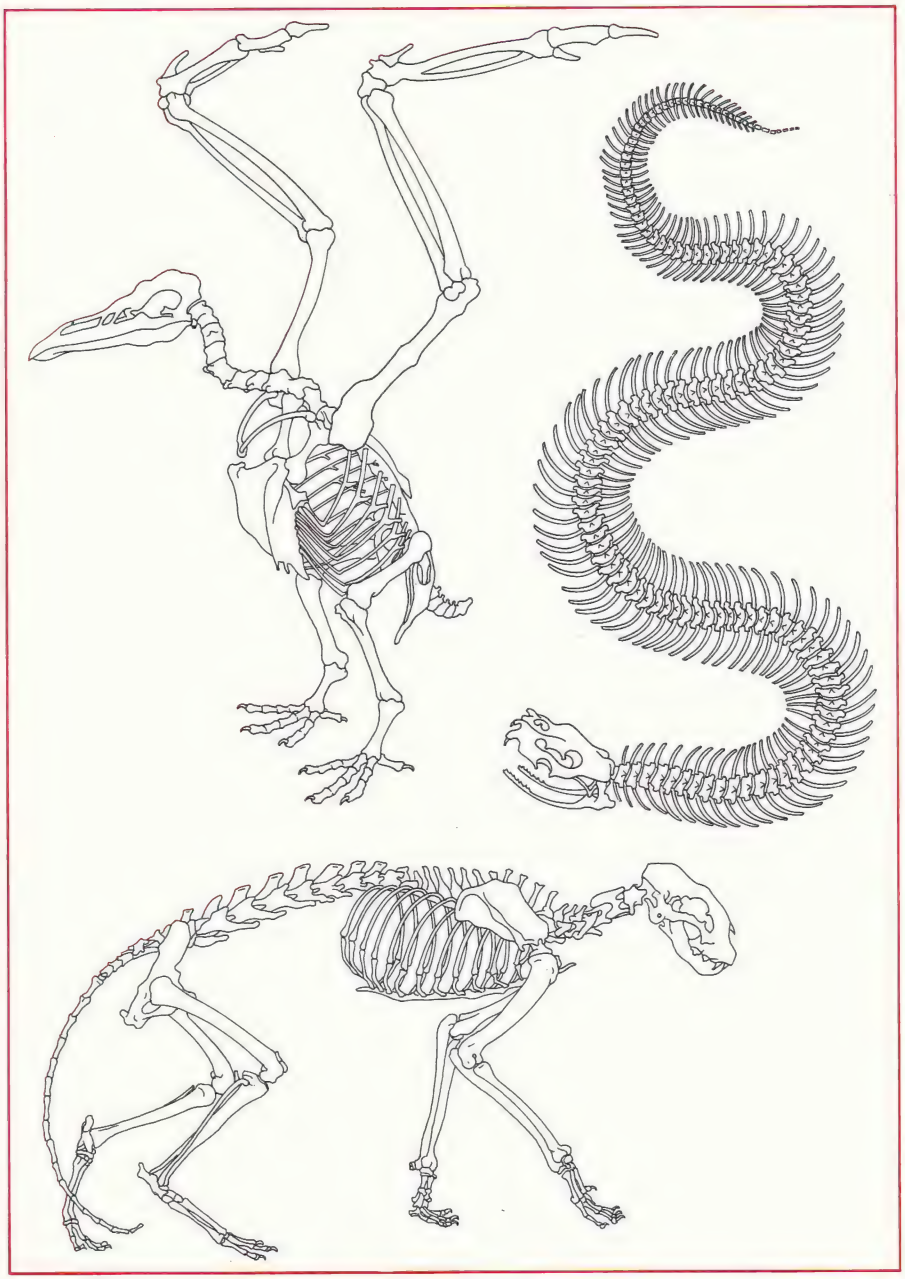
Die *Knochen* des Wirbeltierskeletts sind häufig über *Gelenke* verknüpft und stehen mit Muskelenden in Verbindung. Wenn sich die Muskeln bewegen, sich spannen und entspannen, werden die Knochen gegeneinander verstellt und bewegen sich einheitlich und gegliedert.

Ganz anders ist das bei den *Insekten,* die keine Knochen besitzen, aber von einem harten Chitinpanzer umhüllt sind, der ähnlich wie eine



Die Welt der Wirbeltiere und ihre Hauptvertreter.

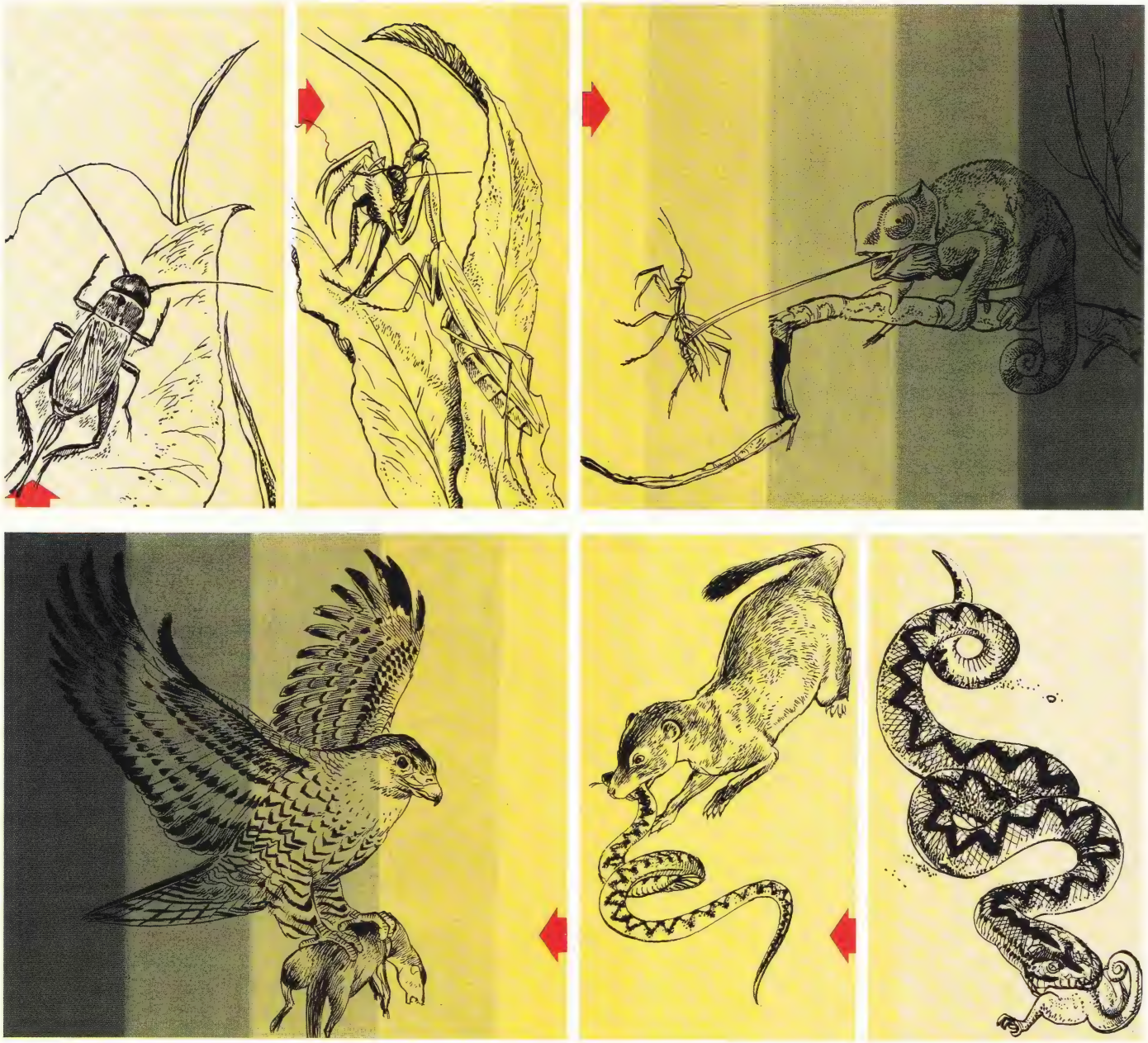
Rechte Seite: Beispiel einer heutigen Nahrungskette in den afrikanischen Steppen, die ganz und gar von Wirbeltieren beherrscht wird: Geradflügler – Gottesanbeterin – Chamäleon – Schlange – Mungo und Adler. Die einzelnen Glieder dieser Kette stellen jeweils die Beutetiere für das nächstfolgende Tier dar.



Rechts: Der Wirbeltierkörper wird von einem Knochengerüst (dem Skelett) gestützt. Hier sehen wir das Skelett eines Vogels, eines Reptils und eines Säugetiers.

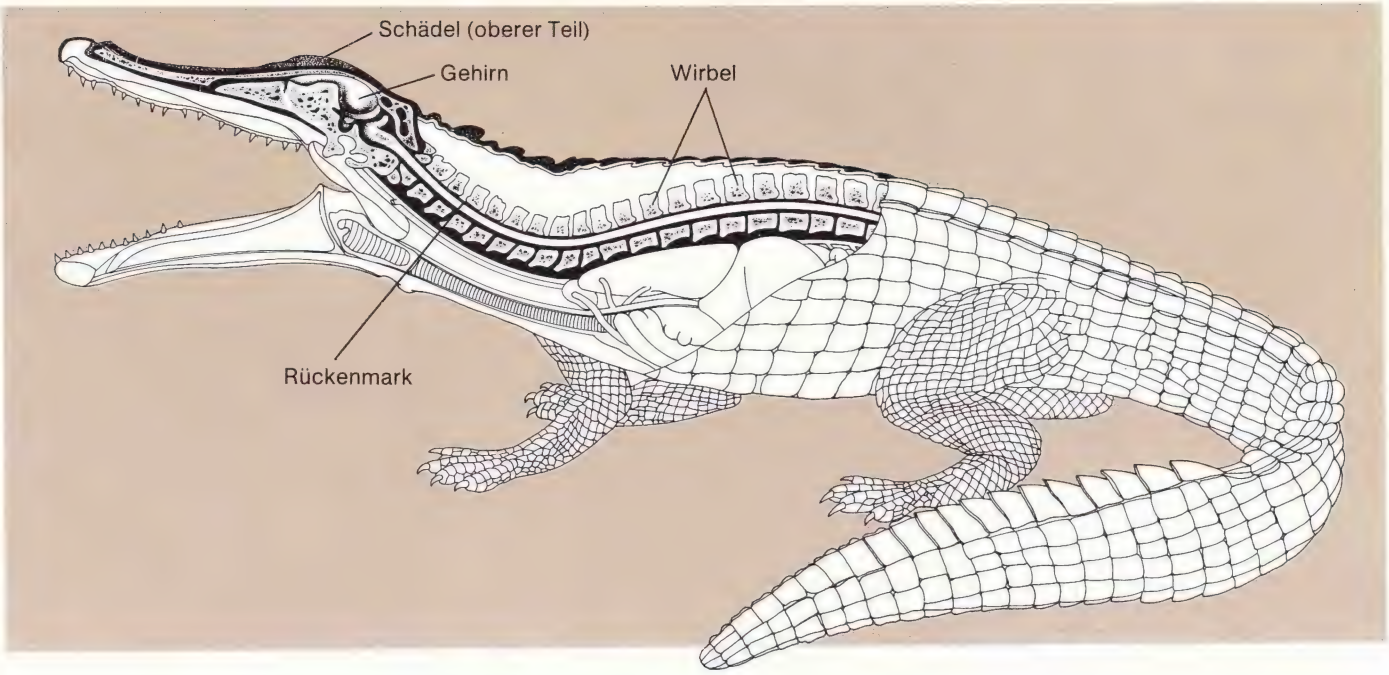
Ritterrüstung gegliedert ist. Insekten besitzen ein echtes *Außenskelett.* Die Muskeln funktionieren hier innerhalb der Skeletteinheiten und setzen nicht außen an. Auf diese Weise bewegt das Insekt seine Flügel durch die Muskeln, die im Innern mit der Schale des Brustabschnitts verbunden sind (während wir Menschen unsere Arme mit Hilfe von Muskeln bewegen, die außerhalb der Knochen aufliegen; dies können wir leicht feststellen, wenn wir unsere Muskeln befühlen). Es gibt also zwei Arten der Gliederung, die grundlegend voneinander verschieden sind.

Insekten gehören zum Stamm der *Arthropoden* oder *Gliederfüßer.* Was eben über die Insekten gesagt wurde, bezieht sich auch auf andere



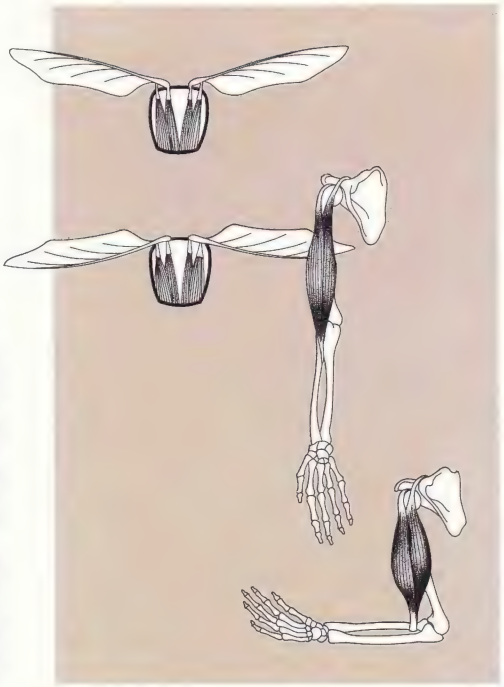
Gliederfüßer. Weitere Unterschiede zwischen diesen Lebewesen und den Wirbeltieren, die die Verschiedenheit beider Gruppen unterstreicht, zeigen sich in ihrem inneren Aufbau. Bei Gliederfüßern liegt das Herz auf der Rückenseite und das Nervensystem auf der Bauchseite. Bei den Wirbeltieren ist dies genau umgekehrt. Es besteht also keine direkte Verwandtschaft zwischen Gliederfüßern und Wirbeltieren. Sie stellen zwei ganz verschiedene Äste am Lebensbaum dar, die sich im Verlaufe der Evolution in weit auseinanderliegende Richtungen entwickelt haben.

In unserer heutigen Welt stehen die Wirbeltiere am Ende einer mehrgliedrigen Nahrungskette aus grünen Pflanzen, Pflanzenfressern



In dieser Zeichnung, die die Anatomie eines Alligators darstellt, können wir die Grundstruktur der Wirbeltiere klar erkennen: Schädel, Gehirn (Groß- und Kleinhirn), Wirbelsäule und Rückenmark.

und Fleischfressern (v. a. Raubtiere). Ihre Überreste werden letztlich von abbauenden Mikroorganismen in anorganische Substanzen zerlegt und damit wieder in die Nahrungskette eingebracht. Wirbeltiere sind in allen Lebensräumen vorhanden: in Meeren, Flüssen, Seen, auf dem festen Land und in der Luft.



Rechts: Die Verschiedenartigkeit der Muskelverbindungen mit den festen Körperteilen bei den Wirbellosen und den Wirbeltieren. – Links oben: der Brustabschnitt einer Libelle, die ein Außenskelett aus Chitin besitzt. Hier ist der Brustabschnitt der feste Körperteil, und die Muskeln, welche die Flügel bewegen, sind mit den Flügelgelenken verbunden. – Rechte Bildhälfte: Knochen des menschlichen Arms mit dem Bizeps, der den Unterarm bewegt. Hier sind die Knochen die festen Teile, und der Muskel ist mit dem Knochen, also außen ansetzend, verbunden.

Das Auftreten von Fischen im Ordovizium

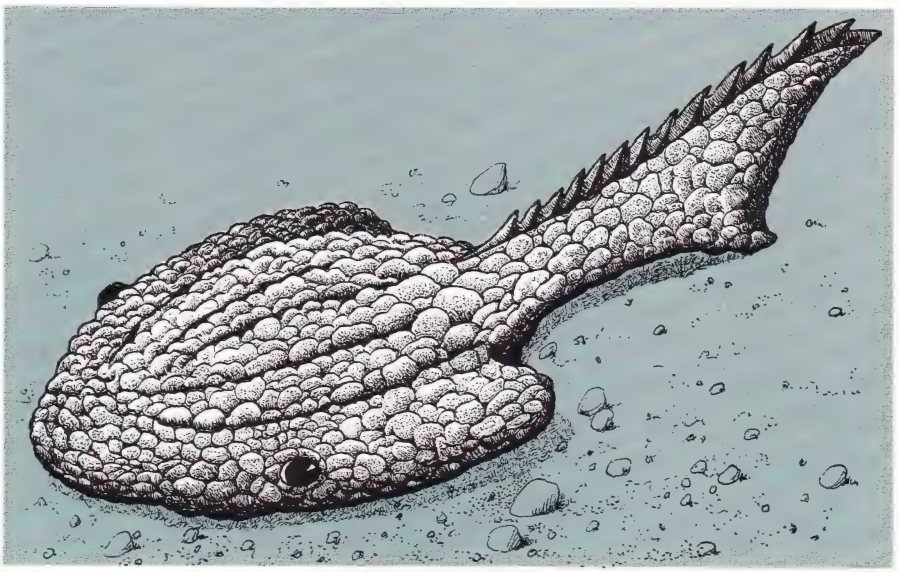
Fische der Urzeit auf den Felsen von Colorado

Mitten im Ordovizium, vor rund 460–470 Millionen Jahren, beförderte ein gewaltiger Fluß in der Gegend des heutigen USA-Staates Colorado große Mengen von Sand und Gesteinstrümmern zum Meer, wo er in der Nähe der heutigen Stadt Canyon City einmündete. Im Laufe der Zeit lagerte sich der Sand zu festen, harten Schichtungen von sandhaltigen Felsen ab. In diesen Schichtungen befinden sich Knochenfragmente, die die Überreste der damaligen Fische darstellen. Aus ihnen können wir einen Teil der Geschichte jener urzeitlichen Wirbeltiere rekonstruieren, die diesen heute längst verschwundenen Fluß besiedelten.

Die sterblichen Überreste dieser Fische sind äußerst fragmentarisch, da sie auf dem langen Weg von ihren Heimatgewässern zum Meer erheblich beschädigt wurden. Erhalten ist lediglich ein oft total zerdrückter Fischpanzer. Die Rekonstruktion ergab, daß diese gepanzerten Fische *(Panzerfische)* der Urzeit flossenlos und von abgeflachter Struktur waren. Gewöhnlich versteckten sie sich im Schlamm des Flußbetts. Die bekannteste Gattung unter ihnen ist *Astraspis.*

Daß als Fischfossilien nur Panzer gefunden wurden und nicht Skelette, ist nicht allzu überraschend angesichts der Tatsache, daß es sich eben um Fische mit Knorpelskelett handelt. Bei fast allen Wirbeltieren wird das Skelett aus Knochen gebildet, d. h. aus organischem Gewebe, dessen Härte und Festigkeit sich durch Einlagerung von Mineralien ergibt. Dies gilt auch für die meisten Fische *(Knochenfische),* wie z. B. Heringe, Schollen und Aale.

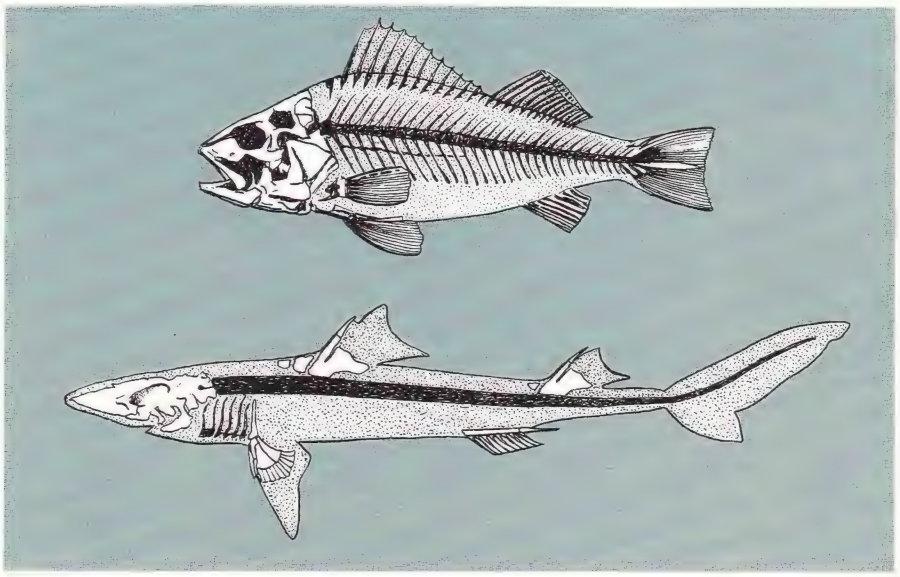
Bei anderen Fischarten jedoch (z. B. Hai und Rochen) besteht das Skelett aus Knorpel *(Knorpelfische),* d. h. aus organischem Gewebe ohne die härtenden Mineralien. Ein Fisch mit Knochengerüst, wie klein er auch immer sein mag, wird auch als Fossil sein Skelett behalten. Ein toter Knorpelfisch jedoch (z. B. ein toter Hai) löst sich mit der Zeit völlig auf, mit Ausnahme seiner kräftigen, harten Zähne, die durch die Jahrtausende erhalten bleiben. Genau dies trifft auf Astraspis zu. Teile seines Panzers, seines einzigen festen Körperteils, haben die Zeit überdauert. Von seinem knorpeligen Innenskelett jedoch ist nichts erhalten geblieben.



So stellen wir uns den Astraspis zu seinen Lebzeiten vor. Dieser urtümliche Fisch lebte vor rund 460 Millionen Jahren.

Normalerweise haben alle Fische, die uns bekannt sind, einen klar erkennbaren Mund und einen Kiefer (wie alle anderen Wirbeltiere, einschließlich des Menschen). Es gibt jedoch eine Handvoll Organismen, die, ähnlich wie ihre Vorfahren in der weit zurückliegenden Vergangenheit, zwar einen Mund, aber keinen Kiefer haben. Sie werden *Agnathen* genannt (was auf Griechisch „ohne Kiefer" bedeutet). Diese *Kieferlosen* stellen die niedrigste Stufe in der Stufenleiter der Wirbeltiere dar.

Auch Astraspis gehört zu den Agnathen. Die ersten Fische waren also äußerst primitiv gebaut: kieferlos, flossenlos und ohne Knochengerüst. Dafür aber waren sie äußerlich gepanzert wie die Krabben und Krebse der heutigen Zeit.



Die meisten unserer heutigen Fische haben ein gut entwickeltes Knochenskelett; oben: Skelett einer Regenbogenforelle; unten: Diagramm eines Knorpelfischs, z. B. eines kleinen Hais.

Auf der Suche nach den Vorfahren von Astraspis

Die Fische werden, wie wir bereits angedeutet haben, in drei Klassen eingeteilt: Knochenfische (Osteichthyes), Knorpelfische (Chondrichthyes) und die Kieferlosen Fische (Agnatha; die allerdings ebenfalls ein Knorpelskelett besitzen). Die Unterschiede zwischen diesen drei Gruppen sind beträchtlich. Viele Wissenschaftler sind allerdings der Ansicht, daß die Agnathen besser ganz von den Fischen getrennt werden sollten und als eigener Unterstamm fischähnlicher Wirbeltiere aufzufassen seien.

Wer waren aber die Vorfahren der ordovizischen Agnathen? Genauer gesagt: Wer waren die Vorfahren von Astraspis und wer die Vorfahren anderer mit ihm verwandter Arten aus Nordamerika, deren Spuren in Ablagerungen aus dem unteren Ordovizium in Estland gefunden wurden? Diese Fragen führen uns zu einer anderen Frage: Wie entwickelten sich daraus die sich später so mannigfaltig ausbreitenden und vermehrenden Wirbeltierarten? Antworten auf diese Fragen erhoffte man sich aus gründlichen Untersuchungen der Ablagerungsschichten im Gestein aus der frühen ordovizischen und der kambrischen

Der Hammerhai, ein riesiger zeitgenössischer Fisch mit Knorpelskelett.

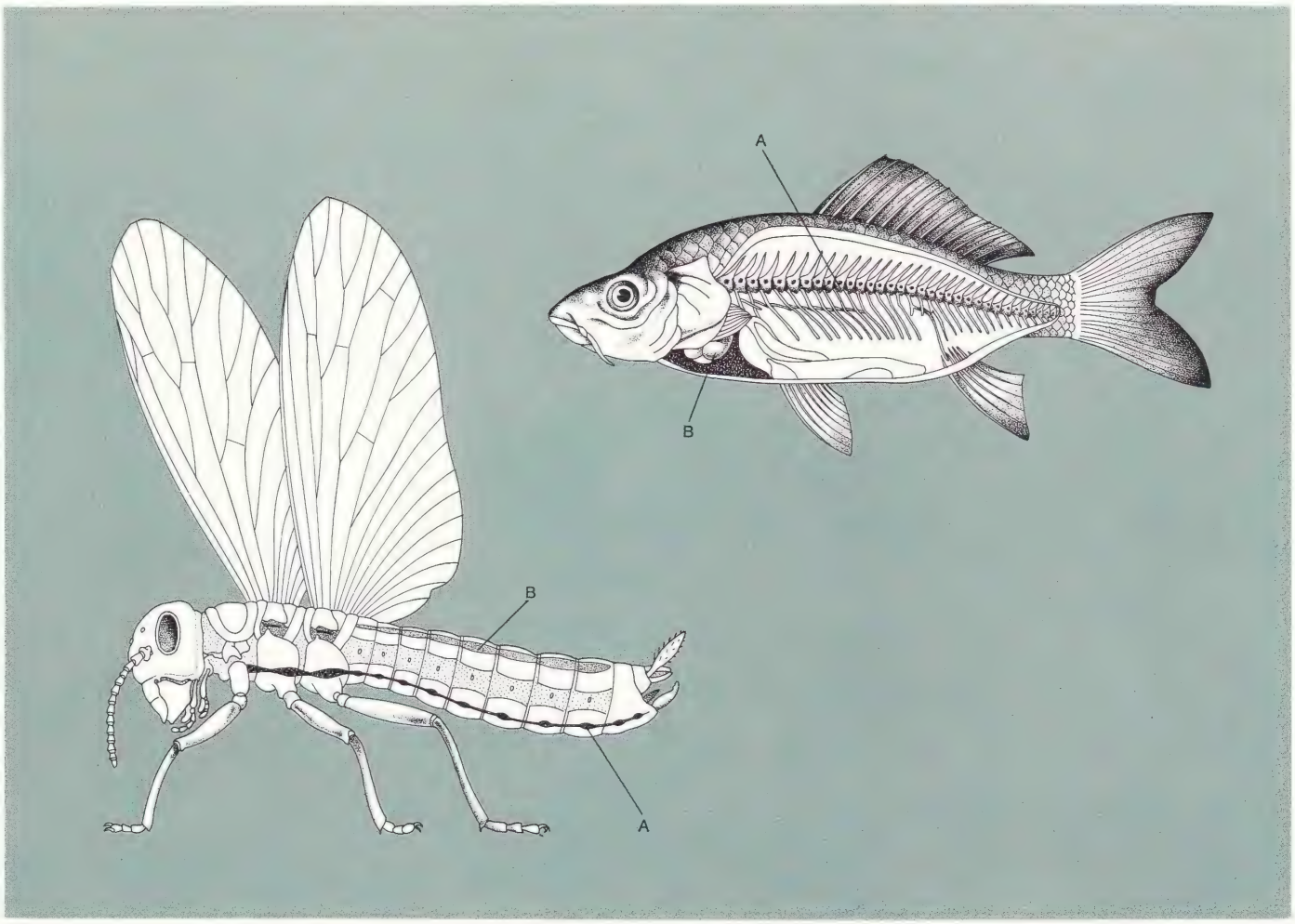
Periode. Bis jetzt wurden jedoch noch keine Fossilien, die die entsprechenden Informationen hätten liefern können, gefunden.

Eine Zeitlang glaubten manche Wissenschaftler an einen Zusammenhang zwischen den Gliederfüßern und den ersten Fischen. Sie gründeten diese Überlegung auf gewisse äußerliche Ähnlichkeiten zwischen den älteren gepanzerten Fischen und manchen rezenten (heute noch lebenden) Gliederfüßern. Diese Hypothese erwies sich als unhaltbar. Die anatomische Struktur von Fischen einerseits und Gliederfüßern andererseits ist höchst unterschiedlich.

In dieser Richtung die Vorfahren von Astraspis zu finden, ist also unmöglich. Die Tatsache, daß keines der so eifrig gesuchten Fossilien gefunden werden konnte, legt den Schluß nahe, daß die Vorfahren des Astraspis aus weichen Teilen bestanden und daher alle seine sterblichen Überreste verschwunden sind. Dies wäre dann die Erklärung dafür, daß die Vertreter von Astraspis überhaupt keine Spuren hinterlassen haben.

Das bedeutet nun nicht, daß man die Suche nach einer Antwort endgültig aufgegeben hat. In Kriminalgeschichten verfolgt der Detektiv neue Spuren, wenn die bisher verfolgten Spuren sich als Irrwege herausstellen. Gerade so verhielten sich in diesem Fall die Wissenschaft-

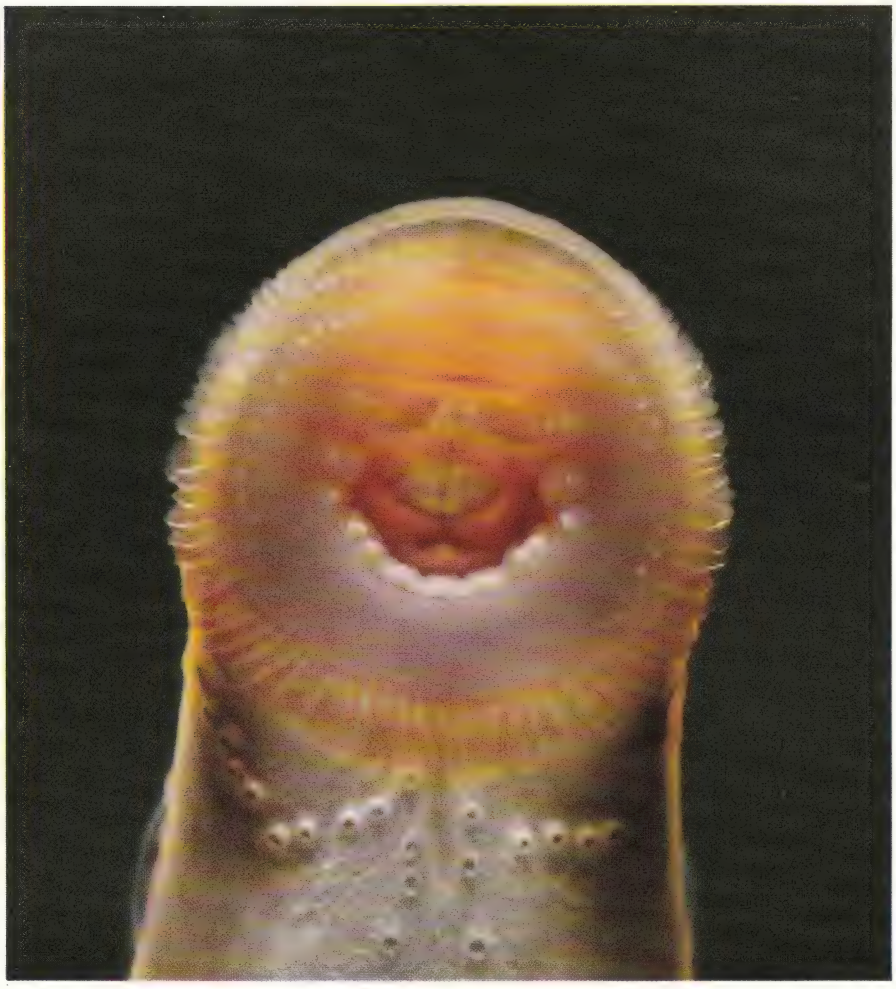
Längsschnitte durch einen Fisch und einen Gliederfüßer. Der grundlegende Unterschied in der Anordnung der Nerven- und Kreislaufsysteme zeigt, daß keine direkte Verwandschaft zwischen Gliederfüßern und Wirbeltieren besteht.



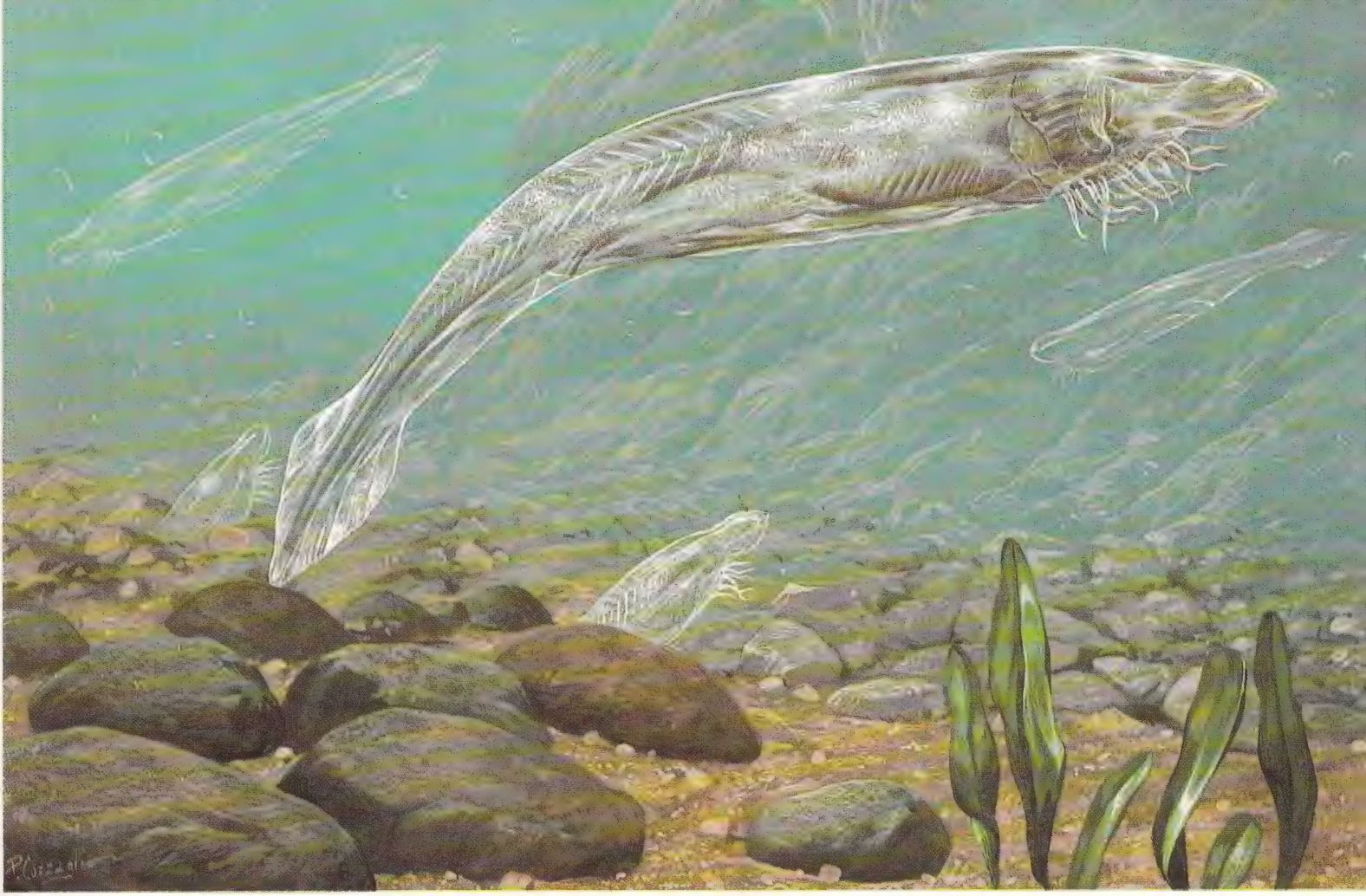
ler. Sie gingen das Problem auf eine andere Art an: Sie beobachten die rezenten Agnathen und versuchen herauszufinden, welche Lebewesen auf einem niedrigeren Stand biologischer Organisation ihnen am nächsten kommen. Und dieses Vorgehen hat sich in der Tat als fruchtbar erwiesen.

Neunauge und Lanzettfischchen

Das *Neunauge,* das äußerlich einem Aal ähnelt, ist der bekannteste Vertreter der rezenten Agnathen. Es besitzt einen runden, saugnapfartigen Mund, mit dem es sich an anderen Fischen festheftet, um ihnen das Blut auszusaugen. Die jungen Neunaugen graben sich in den Schlamm des Gewässergrundes ein. Sie nehmen Wasser durch den Mund auf und geben es durch die Kiemenöffnungen wieder ab. Die Kiemen dienen ihnen als Filter und fangen dabei winzige Organismen und organische Überreste ein, von denen sich die Neunaugen ernähren. Da das urzeitliche Neunauge dem jungen Neunauge von heute stärker ähnelt als dem heutigen ausgewachsenen Neunauge, nimmt man an, daß die Vorfahren des Neunauges sich tatsächlich so verhielten wie die jungen Neunaugen von heute.



Das furchteinflößende Maul des Neunauges. Es ist als trichterförmige Saugscheibe ausgebildet, deren Innenseite mit spitzen Hornzähnen besetzt ist.



Oben: Das Lanzettfischchen lebt im Sand und zwischen Kieselsteinen auf dem Meeresgrund. Diese winzigen marinen Wesen sind zwar keine Fische, haben aber eine ganze Reihe von Eigenschaften mit den Fischen gemeinsam. Ihr Körper ist schlank und durchsichtig, etwa 7–8 cm lang. Sie ernähren sich von Plankton und einzelligen Algen.

Rechte Seite: Rekonstruktion eines Ainiktozoon, eines älteren Zephalochordaten, der im Zeitalter der Urwirbeltiere lebte.

Das Lebewesen, nach dem wir suchen müssen, ist also zwar noch kein Wirbeltier, ähnelt aber in seinem inneren Aufbau den Wirbeltieren und ernährt sich wie ein junges Neunauge. Ein solches Lebewesen gibt bzw. gab es tatsächlich. Es wird *Lanzettfischchen* oder *Amphioxus* (heutige Gattungsbezeichnung: Branchiostoma) genannt. Es ist ein winziges, durchsichtiges Tierchen, ungefähr 5 cm lang, und lebt auf dem Meeresboden, in den Sand und Schlick eingegraben. Es nimmt seine Nahrung mit dem Wasser durch eine Mundöffnung auf, die direkt in den Kiemendarm führt. Es hat kein Knochengerüst, sondern einen knorpelig-biegsamen Stab *(Chorda dorsalis)* auf der Rückenseite, der den ganzen Körper durchzieht und ein Vorläufer der Wirbelsäule ist. Obwohl das Lanzettfischchen weder Schädel noch Gehirn besitzt, verfügt es über ein Nervenrohr, das seinen Rücken entlangläuft wie die entsprechenden Nervensysteme bei den höheren Lebewesen.

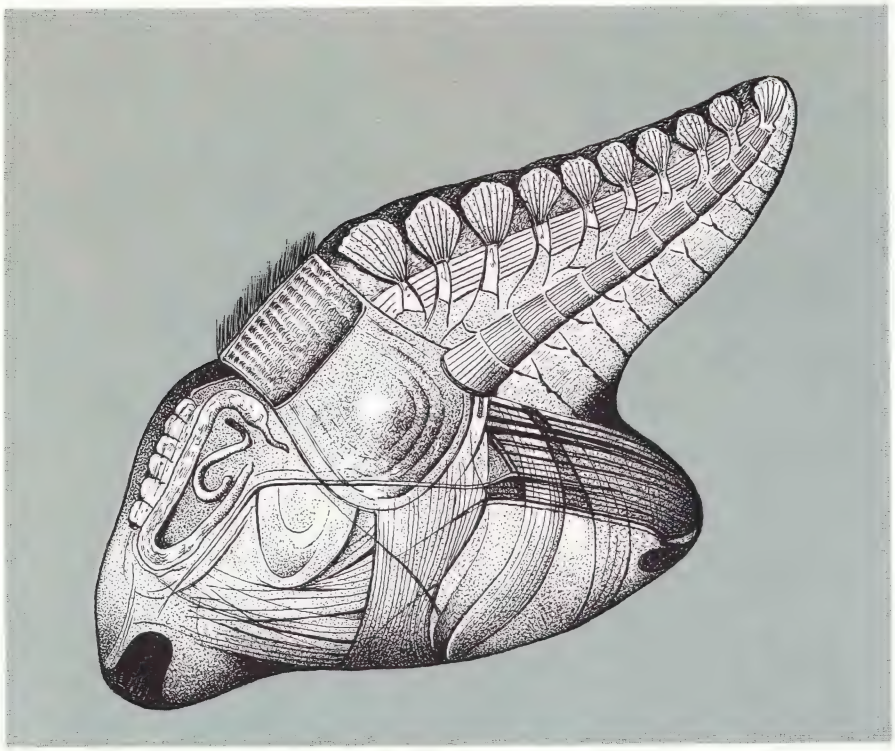
Es besteht offensichtlich eine Verwandtschaft zwischen Wirbeltieren und Lanzettfischchen. Eine Chorda dorsalis, wie sie beim Lanzettfischchen vorhanden ist, ist zunächst auch bei allen Wirbeltierembryonen angelegt. Während sich daraus nun bei den höher entwickelten Wirbeltieren im Verlauf der Individualentwicklung die Wirbelsäule bildet, bleibt die Chorda dorsalis bei den primitiven Wirbeltieren zeitlebens erhalten. Da die Chorda dorsalis sowohl die Wirbeltiere als auch die Vertreter von Amphioxus grundlegend, wenn auch auf verschiedenen Entwicklungsstufen, kennzeichnet, werden diese Tiere als *Chordatiere*

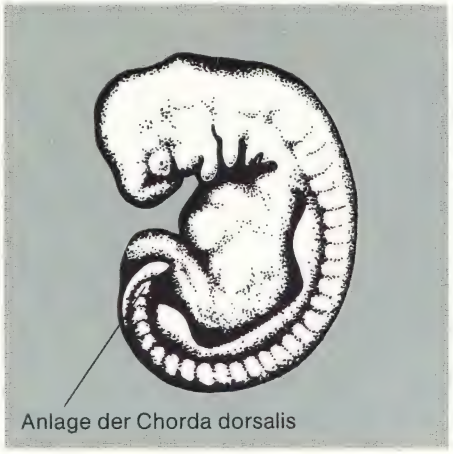
(Chordata) klassifiziert. Zu ihrem Stamm gehören rund 70 000 heute lebende Arten, darunter auch die höchstentwickelten Tiere. Wir dürfen nun wohl annehmen, daß in der Geschichte des Lebens die Lebewesen, die vor den Fischen auftraten, eine Chorda dorsalis gehabt haben müssen und ein Körpersystem, das auf irgend eine Weise mit dem des Lanzettfischchens verwandt war.

Die Tunikaten, seltsame Verwandte der Fische

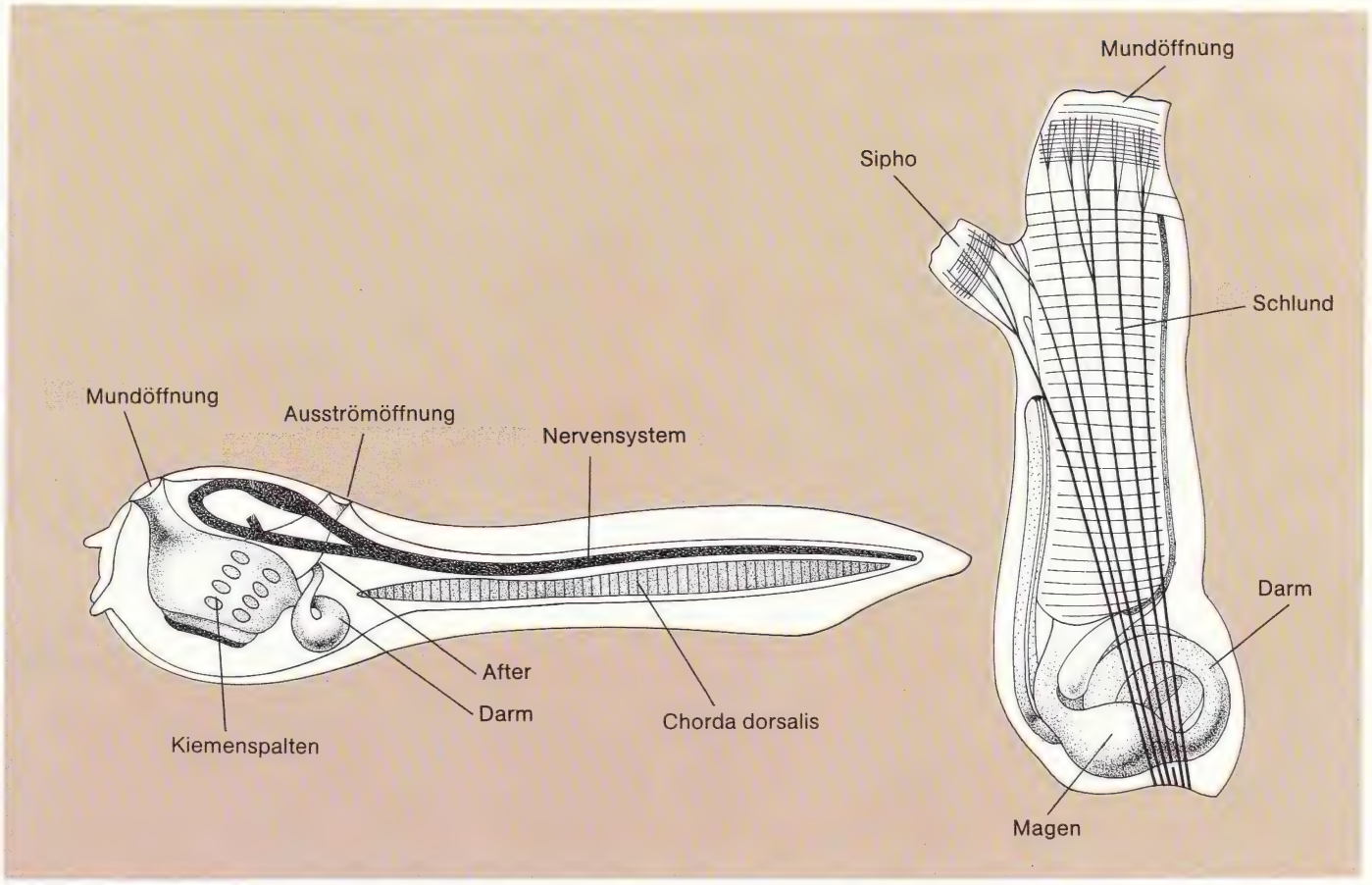
Könnten wir mit Gewißheit sagen, daß das Lanzettfischchen im Kambrium oder frühen Ordovizium gelebt hat, dann wäre unser Problem gelöst. Dieses kleine Lebewesen würde dann als Vorfahr der ersten Agnathen gelten. Aber eine solche Behauptung ist ganz willkürlich: erstens, weil wir dafür keine Fossilienbeweise haben, und zweitens, weil es in der Urzeit ganz andere Lebewesen, dem Lanzettfischchen ähnlich, gegeben haben dürfte, die früher auftauchten.

Auf der Suche nach diesem Lebewesen fanden die Wissenschaftler einige besonders interessante Seetiere, die auf den ersten Blick mit Wirbeltieren überhaupt nichts gemeinsam haben. Es handelt sich um die sog. *Tunikaten (Manteltiere).* Ihre Gestalt ist sackförmig. Sie besitzen zwei Öffnungen zum Wasser hin, von denen die eine zur Aufnahme, die andere zur Ausscheidung von Wasser und Fremdstoffen dient. Viele Tunikaten leben fest verankert auf dem Meeresboden. Ihr innerer Aufbau ist überaus einfach. Das Nervensystem ist rudimentär wie die Sinnesorgane. Das Hauptorgan ist der Verdauungsapparat, der einen ausgebildeten Kiemendarm besitzt. Durch ihn wird das einströmende Wasser gefiltert, welches die winzigen Organismen befördert, von denen sich die Tunikaten ernähren.





Oben: Eine Chorda dorsalis gibt es auch bei den Embryonen der höheren Wirbeltiere. Wir sehen sie hier, durch eine Linie angedeutet, in einem 5 mm großen menschlichen Embryo zu Beginn der fünften Schwangerschaftswoche.



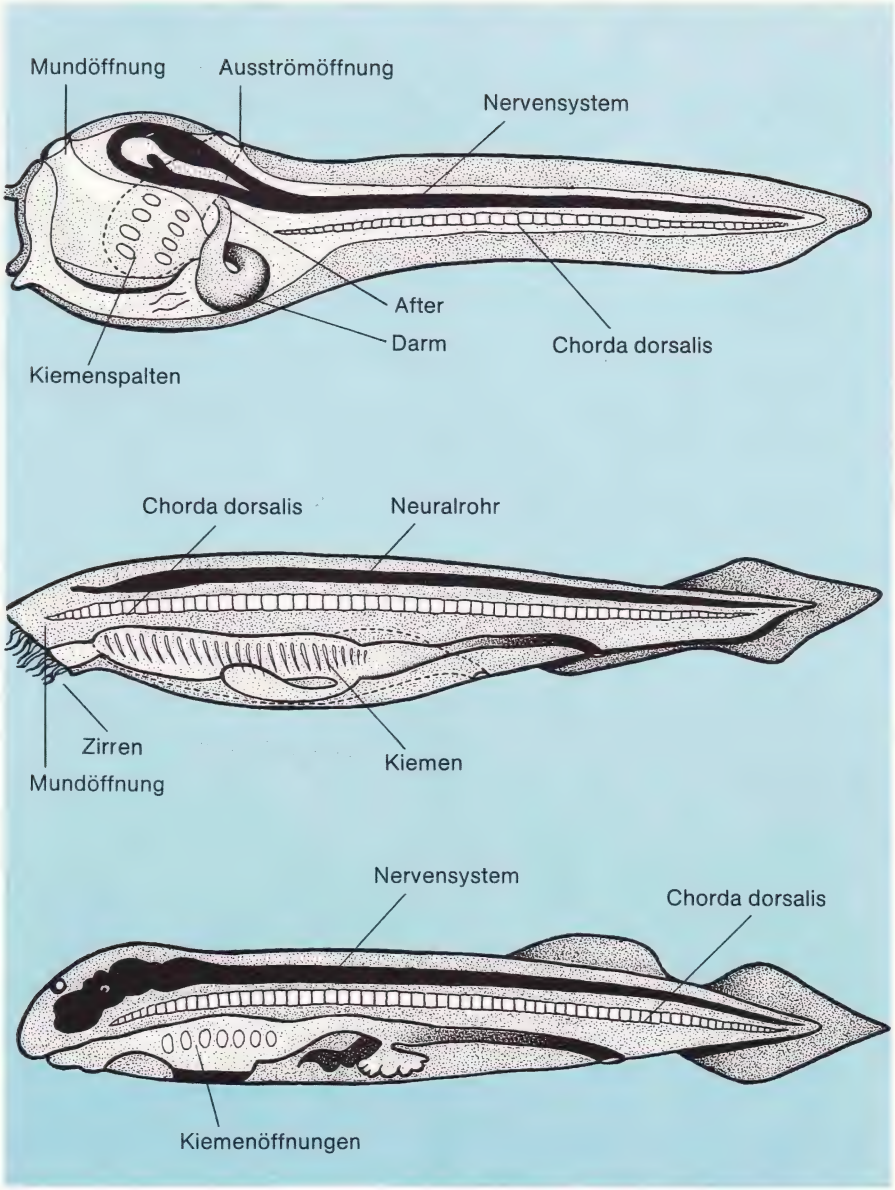
Oben: Schematische Darstellung des inneren Aufbaus eines erwachsenen Manteltiers, in diesem Falle einer Seescheide (rechts). Der Verdauungsapparat ist von höchster Bedeutung; eine Chorda fehlt. – Links die schematische Darstellung einer Manteltierlarve. Hier sind Chorda und Nervensystem hoch entwickelt. Auffällig ist die Ähnlichkeit mit den Zephalochordaten und den Wirbeltieren.

Rechte Seite: Ein schönes Beispiel für Manteltiere (hier Seescheiden), die fest im Meeresboden verankert sind. Die beiden Röhren ermöglichen den Lebewesen, die Schwebstoffe im Wasser, von denen sie sich ernähren, aufzunehmen und Wasser auszuscheiden.

Auf den ersten Blick scheint auch dies eine ziemlich unsichere Spur zu sein. Doch wie in jede Detektivgeschichte, die ihr Geld wert ist, eine sensationelle Wendung eingebaut ist, so gibt es auch hier eine Überraschung: Die Jungen der typischsten Vertreter der Tunikaten, der *Aszidiazeen (Ascidiacea),* ähneln Fischen etwa so stark wie die Lanzettfischchen. Sie schwimmen frei umher, besitzen eine Chorda dorsalis und ein Nervensystem auf ihrem Rücken, das in einer Art „Gehirn" endet. Ihre Gestalt zeigt Ähnlichkeit mit der von Kaulquappen. Bei den Erwachsenen fehlt diese typische Struktur fast ganz, da sie eine andere Gestalt annehmen, in der das Nervensystem reduziert und die Chorda dorsalis verschwunden sind. Die erwachsenen Exemplare sitzen auf dem Meeresboden fest und sind von einem Schutzmantel *(Tunica)* umgeben, nach dem die ganze Gruppe benannt ist.

Auf Grund der Larvenstruktur der Aszidiazeen nahmen viele Wissenschaftler an, daß die urtümlichen Tunikaten, genau wie das heutige Lanzettfischchen, mit den Fischen verwandt waren und daß erst ein langer Evolutionsprozeß zum Aufbau der erwachsenen Tunikaten geführt hat. Jedenfalls ist es klar, daß diese Lebewesen zum Stamm der Chordatiere gehören. Sie werden als *Urochordaten* bezeichnet. Diese Bezeichnung bezieht sich auf die Position der Chorda im Schwanzbereich (griechisch *ourá* = Schwanz). Bei den freischwimmenden, kaulquappenähnlichen Larven befindet sich die Chorda nicht, wie bei den

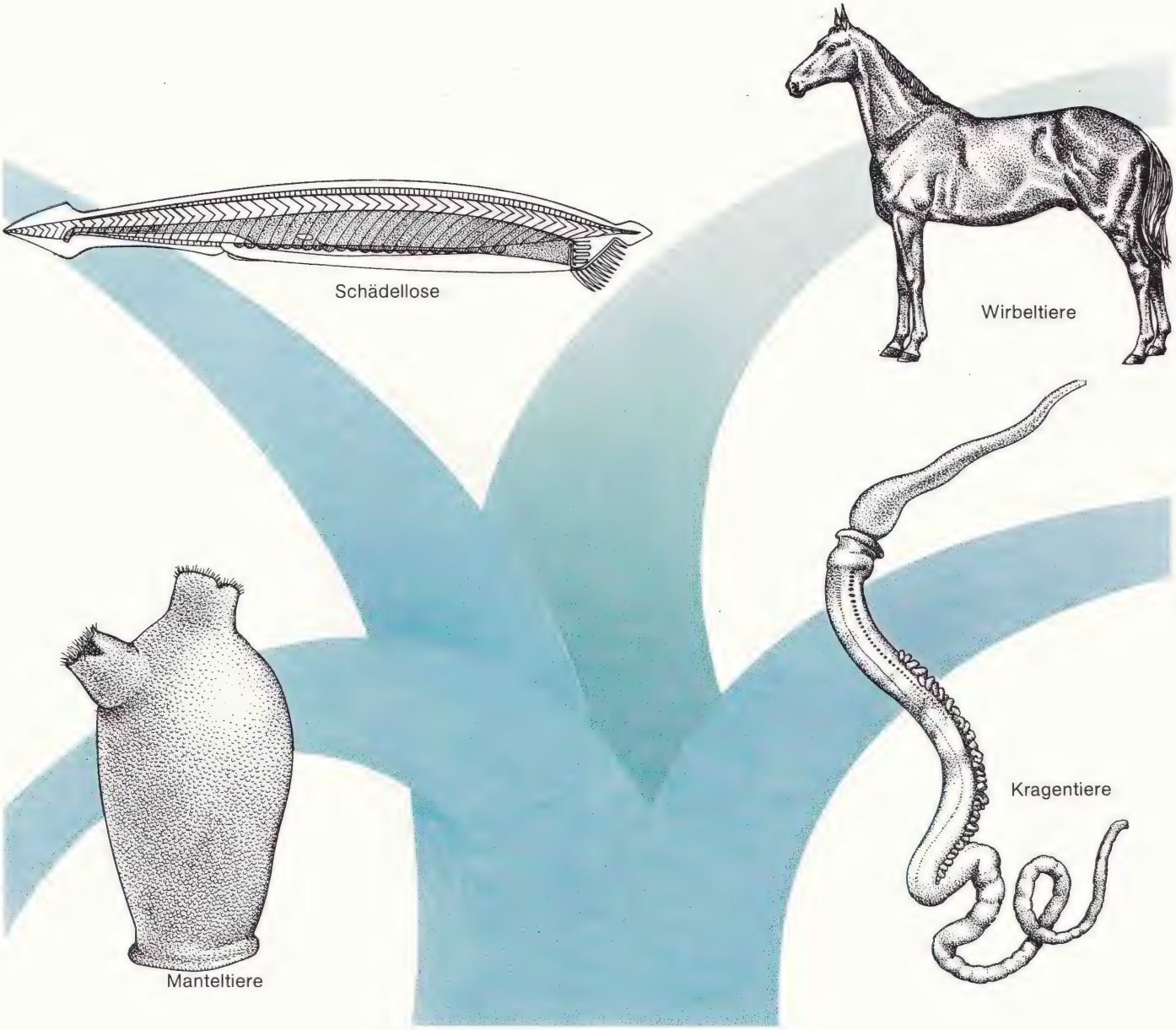
Schematische Darstellung der Verwandtschaft zwischen Urochordaten, Zephalochordaten und Wirbeltieren. Von oben nach unten: Darstellung des inneren Aufbaus einer Tunikatenlarve, eines Lanzettfischchens und eines primitiven Wirbeltiers. Das Vorhandensein der Chorda dorsalis bei allen drei Lebewesen erlaubt uns, sie als Chordatiere zu klassifizieren.



Lanzettfischchen, am Vorderende des Körpers, sondern sie verstärkt und stützt den Schwanz. Dies ist der Hauptunterschied in der Struktur zwischen den Lanzettfischchen und den Larven der Manteltiere.

Vorspiel zur Entstehung der Wirbeltiere in den Urmeeren

Wir stehen jetzt unmittelbar vor der Lösung des Problems, wie die Wirbeltiere entstanden sind. Die rezenten Exemplare der jungen Neunaugen, der Lanzettfischchen und der Manteltiere stellen eine viel zu genau bestimmte und weitverbreitete Kategorie von Lebewesen dar, als daß sie in der Evolutionsgeschichte ohne Bedeutung gewesen sein könnten. Tatsächlich bevölkerten ähnliche Lebensformen das Urmeer. Und da ein Vertreter unserer heutigen Tierwelt, das Neunauge, nichts anderes ist als die Jugendphase eines Vertreters der damaligen



Agnathen, gibt es wohl keinen Zweifel, daß manche dieser Urtiere die Vorfahren von Astraspis, des primitiven Urvertreters der Agnathen, waren. Durch die Evolution entwickelten sich diese längst vergessenen Tierchen zu den drei Gruppen der Urochordaten, der Zephalochordaten und der Wirbeltiere auseinander.

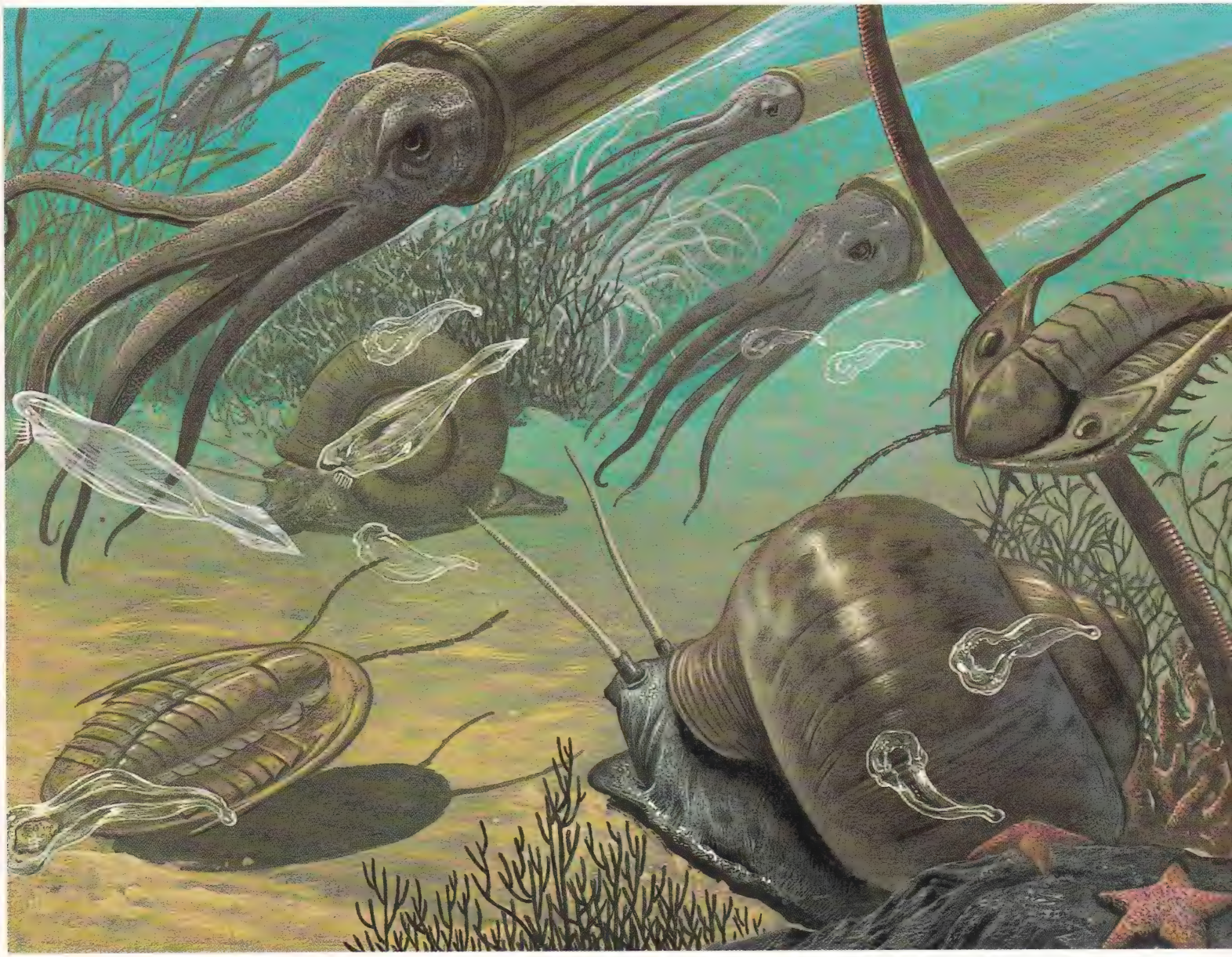
Dies also waren die Urahnen der Wirbeltiere: unzählige winzige, gestreckte Tierchen, weich und ungeschützt, die vor 500 Millionen Jahren auf dem Boden des seichten Urmeers lebten und mit ihren kieferlosen Mäulern Nahrung aus dem Schlamm des Meeresgrundes filtrierten. Winzige Lebewesen von dieser oder noch einfacherer Art gab es vielleicht sogar schon vor dem Kambrium, frei herumschwimmend um die Wurzeln des Lebensbaums, die ja, wie wir früher gehört haben, im Wasser lagen.

Darstellung der Evolution der Chordaten und anderer mit ihnen verwandter Lebewesen. Die Chordatiere entwickelten sich aus einer gemeinsamen alten Stammesgruppe von Lebewesen und bildeten drei Gruppen: die Urochordaten (Tunikaten), die Zephalochordaten und die Wirbeltiere. Die Hemichordaten, deren berühmtester Vertreter heute der Balanoglossus ist, gehören zur selben Stammesgruppe.

Natürlich wäre es jetzt nötig zu zeigen, daß diese Wurzeln zugleich den Ursprung für andere Tierarten darstellen. Diese Aufgabe stellt uns vor ein äußerst schwieriges Problem. Wir müssen davon ausgehen, daß viele Lebensformen, die heute denkbar weit auseinanderliegen und sehr komplex sind, sich im Präkambrium außerordentlich nahestanden und noch recht einfach waren. Es ist aber fast unmöglich, eine solche Verwandtschaft nach so vielen Jahrmillionen zu rekonstruieren.

Dennoch haben Wissenschaftler einige hochinteressante Hypothesen über solche Zusammenhänge aufgestellt. Folgt man ihnen, so ist wenigstens eine entfernte Verbindung erkennbar zwischen den Wirbeltieren (oder Chordaten im allgemeinen) und den *Echinodermaten* (Stachelhäutern) und *Hemichordaten* (der Gruppe, zu der die heute ausgestorbenen *Graptolithen,* kleine, koloniebildende marine Tiere mit

Zu Beginn des Ordoviziums übten die Raubtiere (Nautiloideen, verschiedene andere Arten von Weichtieren und Trilobiten) einen ungeheuren Druck auf die Chordaten aus, von denen viele schon in tiefere Gewässer geflüchtet waren, in denen sie sich sicherer fühlten; außerdem hatten sie begonnen, einen Panzerschutz zu entwickeln.



einem chitinigen Außenskelett, gehörten). Unter den heute lebenden Tieren wird diese ziemlich eigenartige Form durch eine Reihe von Organismen repräsentiert, in deren Schlund einige Zellen denjenigen Zellen entsprechen, die die Chorda der Chordaten bilden. Der bekannteste unter diesen Organismen ist *Balanoglossus,* ein Lebewesen, das wie ein Wurm aussieht und im Sand des Meeresgrundes lebt.

Die Vorfahren der Wirbeltiere

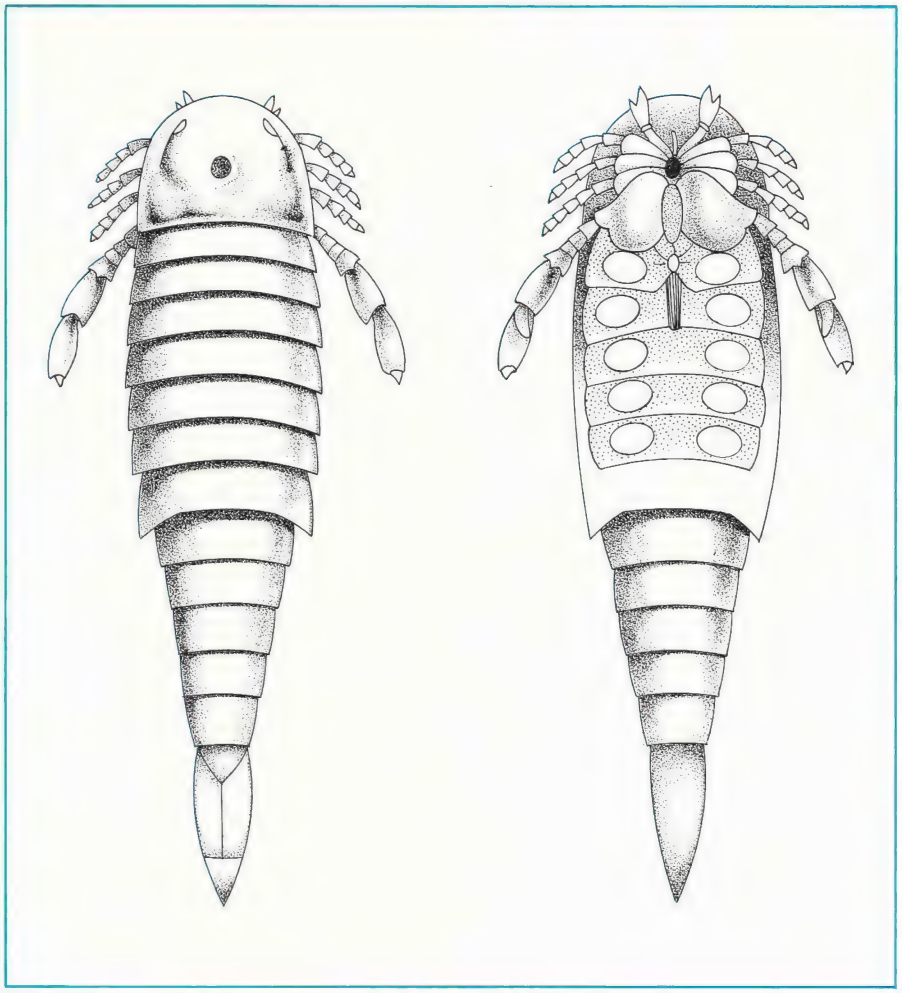
Die Suche nach den ältesten Wurzeln des Lebensbaums erbrachte eine Reihe neuer Einsichten. Es läßt sich allerdings nicht leugnen, daß vieles an diesen Einsichten noch sehr vorläufig und vage ist. Wir wenden uns nun wieder den kleinen Chordaten zu, welche im frühen Paläozoikum die Vorfahren der Fische gewesen zu sein scheinen. Zwar können wir

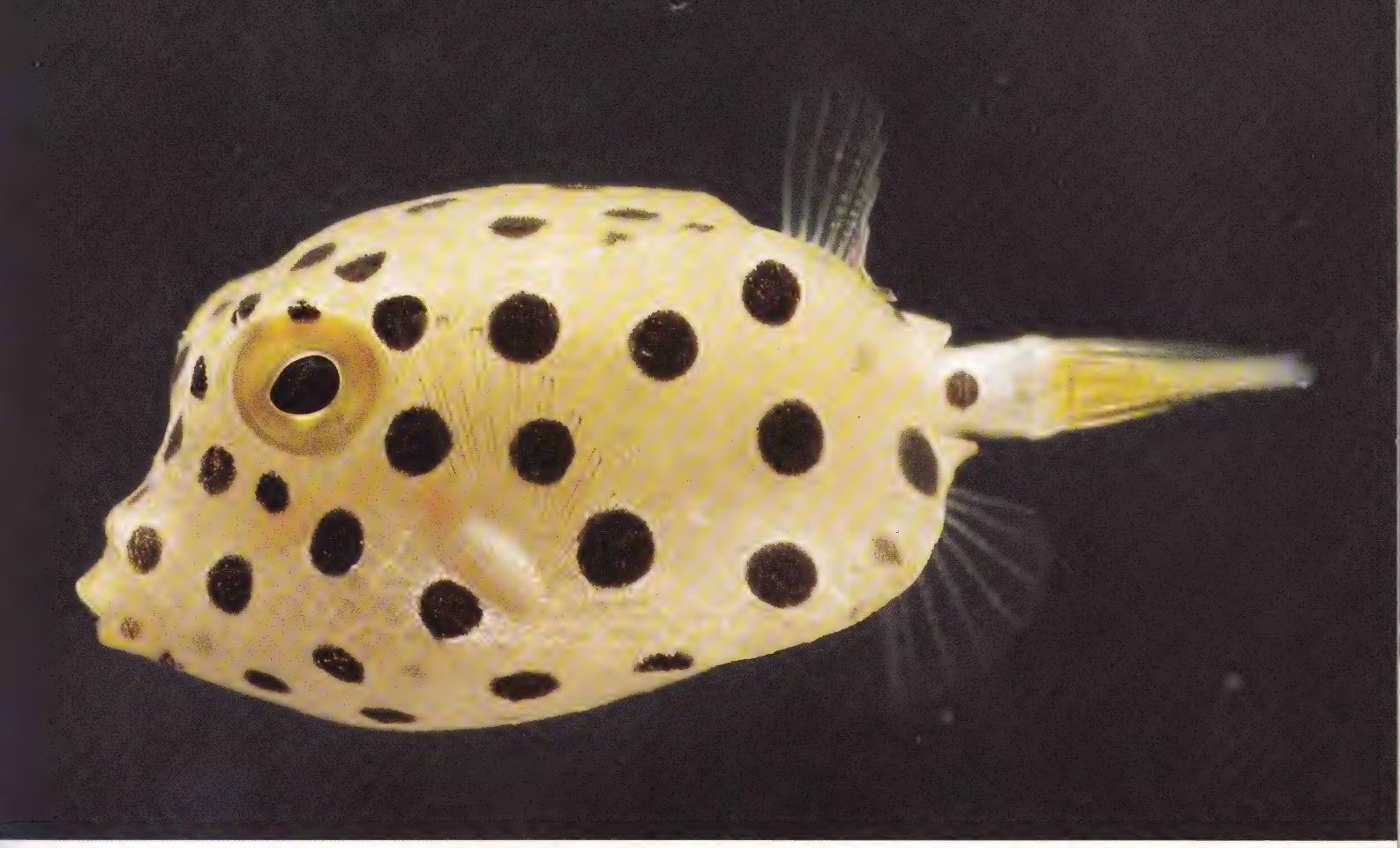
uns nur auf Hypothesen stützen, aber die Rekonstruktion der Abenteuer dieser kleinen, urzeitlichen Lebewesen wird sicher amüsant sein.

Diese weichen, ungeschützten Winzlinge waren schon Glieder der Nahrungskette zu einem Zeitpunkt, den wir in das spätere Kambrium lokalisieren können. Sie waren eine leichte Beute für die vielen „Raubtiere", die auch schon zu jener Zeit existierten, z. B. die Trilobiten, die Medusen und die fleischfressenden Weichtiere. Infolgedessen wurde ihre Vermehrung auf drastische Weise kontrolliert. Sie wären wohl ausgerottet worden, wenn sie keine Veränderung durchgemacht und eine besondere Begabung entwickelt hätten: Sie konnten schließlich erheblich schneller als ihre Verfolger schwimmen, und zwar dank ihrer körperlichen Wendigkeit und einem verfeinerten Nervensystem. Mit dieser Ausrüstung fiel es ihnen leichter, ihre Umgebung zu wechseln – eine Fähigkeit von größter Bedeutung für die Erhaltung und Weiterbildung ihrer Art.

Man nimmt an, daß diese Chordatiere, die jetzt besser und schneller schwimmen konnten als ihre Meeresgenossen und einfach anpassungsfähiger waren, aus ihrer seichten, salzigen Meeresheimat auswanderten und sich in der Nähe der Küste, in den Buchten, Flußmündungen und Lagunen niederließen. Sicherlich verlangten solche Wanderungen von

Ein Seeskorpion des Ordoviziums; in diesem Fall ein relativ kleines Exemplar, 7,5 cm lang.





Ein rezenter Schuppenfisch, der Korbfisch. Er wird durch polygonale Schuppen geschützt.

diesen Organismen ein erhebliches Ausmaß an Entwicklungsfähigkeit, und es dürfte eine überaus lange Serie von kleinen aufeinanderfolgenden Anpassungsschritten stattgefunden haben. Der Übergang z. B. von einer Wasserart in die andere (unterschiedlicher Salzgehalt) verlangt auch Änderungen in der Zusammensetzung der Körperflüssigkeiten. Wahrscheinlich wurden viele dieser Auswanderungen von denen unternommen, die sich noch im Larvenstadium befanden und darum anpassungsfähiger als die ausgewachsenen Exemplare waren. Einmal erwachsen, setzten sich die Tiere in ihrer neuen Umgebung fest. Sie kehrten nur zum Meer zurück, um sich fortzupflanzen.

Die Morgendämmerung der Fische im Ordovizium

Da es in ihrer neuen Umgebung keine „Raubtiere" gab, lebten die kleinen Chordatiere erheblich sicherer als im offenen Meer. Schließlich konnten sie nicht nur überleben, sondern sich auch durchsetzen, da sie jetzt leichter das Fortpflanzungsalter erreichten. Viele Mutationen, die sonst bald verlorengegangen wären, konnten so von Generation zu Generation weitergegeben werden und deshalb neue und vielfältige Formen hervorbringen. Von diesen vielen Mutationen sind uns keine Spuren erhalten geblieben; daß es jedoch eine ungeheuer große Anzahl gewesen sein muß, sehen wir allein schon an unseren rezenten Fischen.

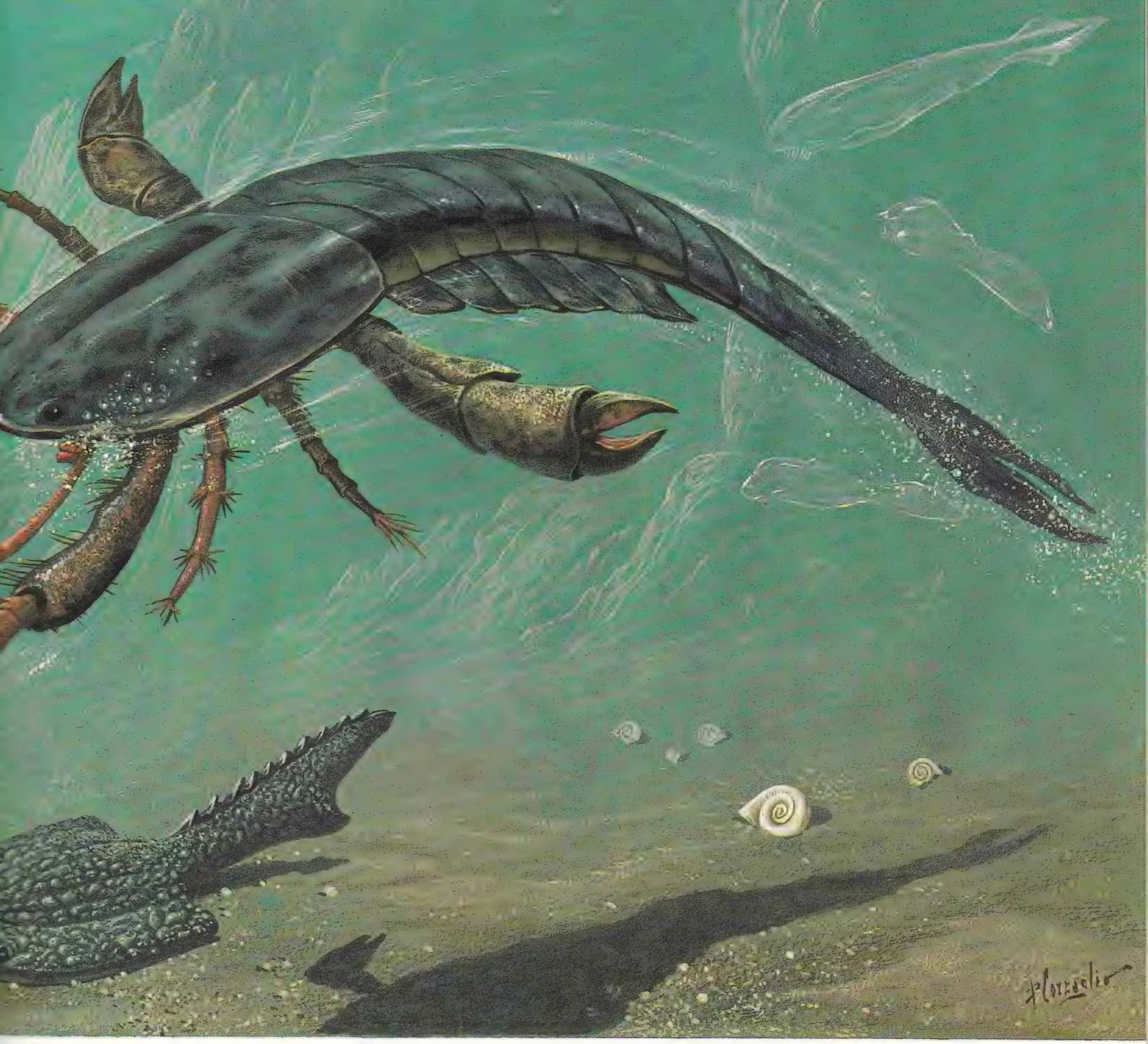
Die vielen neuen Arten von Chordatieren vermehrten sich unaufhörlich und siedelten sich in den sicheren küstennahen Gewässern an. Manche von ihnen krochen auf dem Meeresgrund umher, andere gruben sich dort in den Schlamm ein. Wieder andere bevorzugten die schwim-

Im Ordovizium wurden die Lagunen und Flußmündungen zum ersten Mal von Fischen bevölkert; auch Seeskorpione fanden sich nach einiger Zeit dort ein. Die Folge war, daß nur die Panzerfische überlebten, alle anderen starben aus. Dies gab der Evolution der Fische einen beträchtlichen Aufschwung.

mende Fortbewegung. Aber alle entwickelten einen schützenden, knochenartigen Panzer, welcher, obwohl nur äußerlich, eine grundlegende Form des Skeletts war: Die Welt der Wirbeltiere bahnte sich an.

Die damalige Tendenz aller Wirbeltiere, sich einen *Panzer* zuzulegen, ähnlich wie die Ritter im Mittelalter, besteht noch heute bei einigen Gruppen, z. B. bei manchen hochentwickelten Fischen wie dem Kofferfisch *(Ostracion).* Auch die Schildkröten und das Gürteltier besitzen einen Panzer. Dieser Panzer bot die Voraussetzung für die Entwicklung der Fische und sicherte ihr Überleben im Ordovizium.

Besonders diejenigen Fische, die sich in der Nähe des offenen Meers aufhielten, waren auf ihren Panzer angewiesen, wenn sie fleischfressen-



den Bewohnern des Meeres entkommen wollten. Am gefährlichsten von allen waren die Eurypteriden oder Seeskorpione. Mit der Zeit setzten sich jedoch die gepanzerten Fische durch, und sie durchliefen weitere komplexe Entwicklungen.

Zu dieser Zeit lebten Astraspis, Eriptychius und mehrere andere ähnliche Arten. Sie bewohnten die Süßwassergebiete, schwammen die Flüsse hinauf und besaßen einen hochentwickelten, starken, harten Panzer. Obwohl nur Fragmente von ihnen gefunden wurden, können wir mit Hilfe dieser Fragmente die Geschichte von der Entstehung der Fische, die zugleich die Geschichte von der Entwicklung der Amphibien, Reptilien, Vögel und Säugetiere ist, zurückverfolgen.

Das Silur: Seeskorpione und Fische im Vormarsch

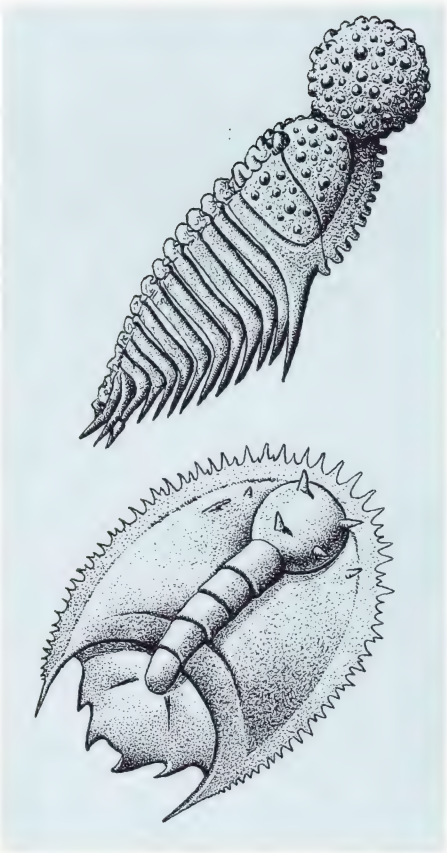
Meeresleben im Silur

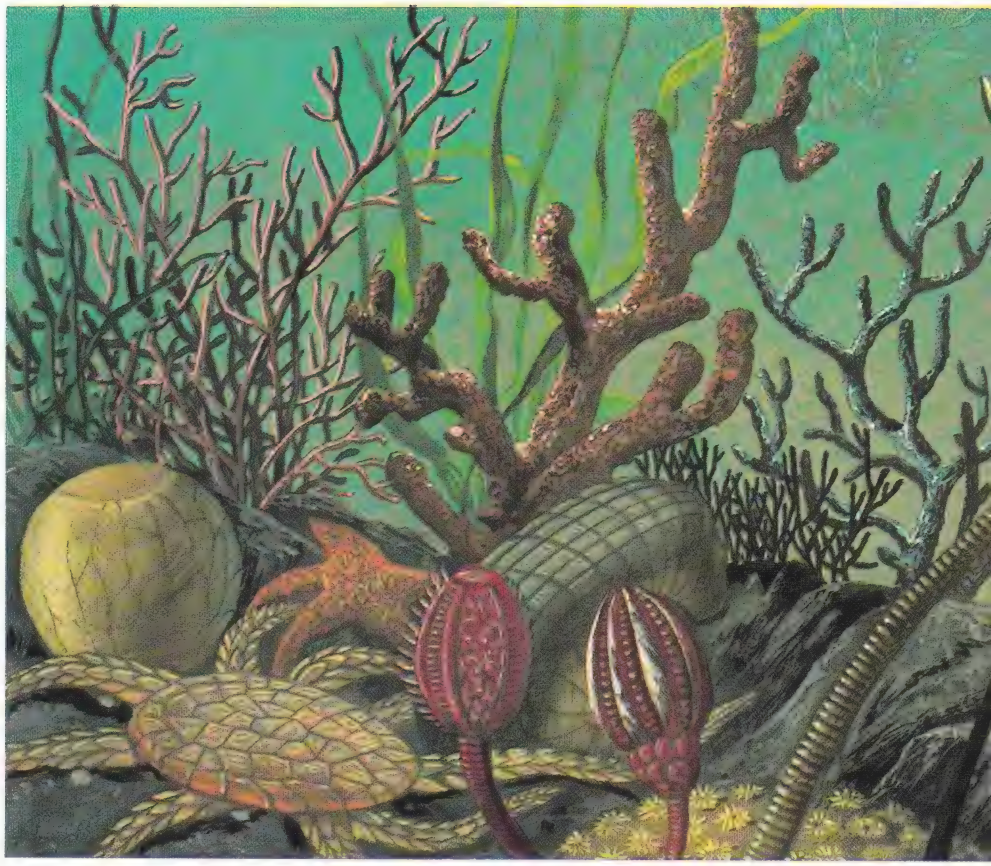
Auf das im vorigen Abschnitt angesprochene Ordovizium, das vor rund 430 Millionen Jahren endete, folgte in der Geschichte der Erde die Periode des *Silurs,* welche 35 Millionen Jahre dauerte. Zu Beginn dieses Zeitabschnitts waren die Eiskappen der Sahara längst geschmolzen, da auch die Pole wieder ihre Position leicht verändert hatten. Die heiße Zone erstreckte sich zwar immer noch über die heutige Arktis und umschloß sowohl Nordamerika als auch einen Teil Sibiriens. Es gab aber auf dem ganzen Planeten keine Polareiskappen mehr, und das Klima war überall entsprechend ausgeglichener.

In den Meeren gaben die Algen riesige Mengen Sauerstoff ab, der die Atmosphäre entscheidend bereicherte. Im warmen Wasser bildeten Korallentierchen ungeheuer große Riffe, wo heute mächtige Eisberge durch die nördlichen Meere treiben. Die Korallen dieser Urriffe unterschieden sich bedeutend von den heutigen Korallen. Jede Spur ihrer Nachkommen verlor sich schon vor etlichen tausend Jahren, obgleich die Korallenriffe selbst genau wie heute aussahen. In jenen fernen Zeiten glich die Landschaft der nördlichen Breitengrade höchstwahrscheinlich der der großen australischen Korallenbänke von heute, z. B. in der Gegend des Großen Barriereriffs. Versuchen wir uns vorzustellen, wie der leuchtend grüne Farbton des Wassers in die intensive Bläue des offenen Meers übergeht. Dieses unvergleichliche Bild hätte sich uns vermutlich auch vor 400 Millionen Jahren dargeboten.

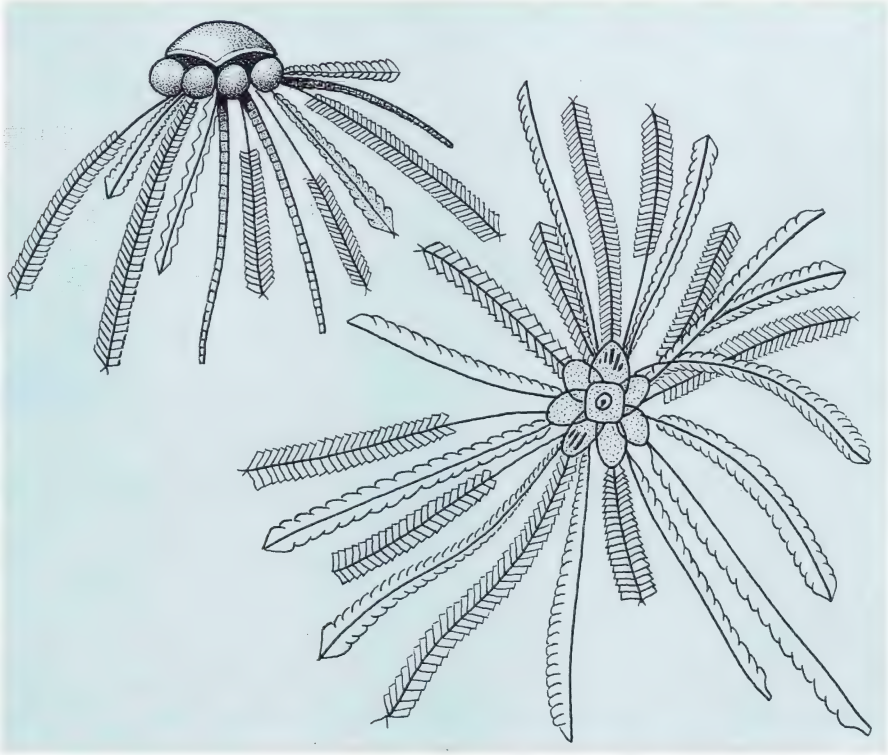
Im Meer wimmelte es förmlich von Lebewesen, die es schon in der Zeit vor dem Silur bevölkert hatten. Ständig entwickelten sich neue Klassen und Arten – als Ergebnis des langsamen, aber unaufhaltsamen Prozesses der evolutionären Umwandlungen. Riesige Kolonien von Graptolithen trieben auf den Wellen über Betten von Algen. Die wunderschönen *Krinoiden* (Verwandte des Seesterns), die Blumen mit langem Stiel glichen, bildeten weite Unterseefelder in leuchtenden Farben. Auf diesen blumenreichen „Unterseewiesen" wanderten Krustentiere aller Arten. Würmer und Seeschnecken bewegten sich frei umher, während sich Muscheln und Schwämme zwischen Korallenbüschen und Krinoidenstengeln über den Boden ausbreiteten.

Der Boden eines Korallenmeers. Ähnliche Meereslandschaften gab es auf dem Grund des arktischen Meers im Silur.





Links oben: Einige silurische Trilobiten besaßen mehrere Auswüchse, die offenbar der Verteidigung dienten. Hier zwei Beispiele; oben: Staurocephalus murchisoni (Seitenansicht); darunter: eine Larve von Acantholoma tubercolata (stark vergrößert).



Rechts: Rekonstruktion einer Graptolithenkolonie im Silur; links: Seitenansicht; rechts: von oben gesehen.

Der Meeresgrund im Silur mit reicher Fauna. Auffällig sind besonders die Krinoiden, die wie riesige Blumen aussahen und einen wahren Unterwassergarten bildeten.

Die *Trilobiten (Dreilappkrebse),* uralte Herrscher der Meere des Kambriums, waren noch überall zu sehen, obwohl ihre Herrschaft jetzt zu Ende ging. Viele lebten auf dem Meeresgrund oder im Schlick auf verschiedenen Ebenen. Viele Organismen versuchten sich gegen ihre Feinde zu schützen, indem sie die eigentümliche Begabung entwickelten, sich schnell zusammenzurollen, wenn sie angegriffen wurden. Von dieser Methode hatten sie schon im Ordovizium reichlich Gebrauch gemacht. Andere Lebensformen entwickelten nach und nach andere Verteidigungsmechanismen wie scharfe Kanten oder stachelartige Knochen.

Monströse Wassertiere

In dieser Zeit veränderten sich langsam, aber stetig die Nahrungsketten. Im Ordovizium stellten die riesigen *Nautiloideen (Perlboote)* das letzte Glied in vielen dieser Nahrungsketten dar. Sie waren mehrere Meter lang, und ihnen gegenüber waren die anderen Meeresbewohner ganz und gar hilflos. Andererseits waren diese Weichtiere mit ihren geraden, schweren Schalen viel zu groß und schwerfällig, um mit einer neuen Generation leichterer Nautiloideen konkurrieren zu können. Also starben die Riesennautiloideen der Gattung Endoceras aus, und an ihre Stelle traten kleinere, beweglichere *Zephalopoden (Kopffüßer).*

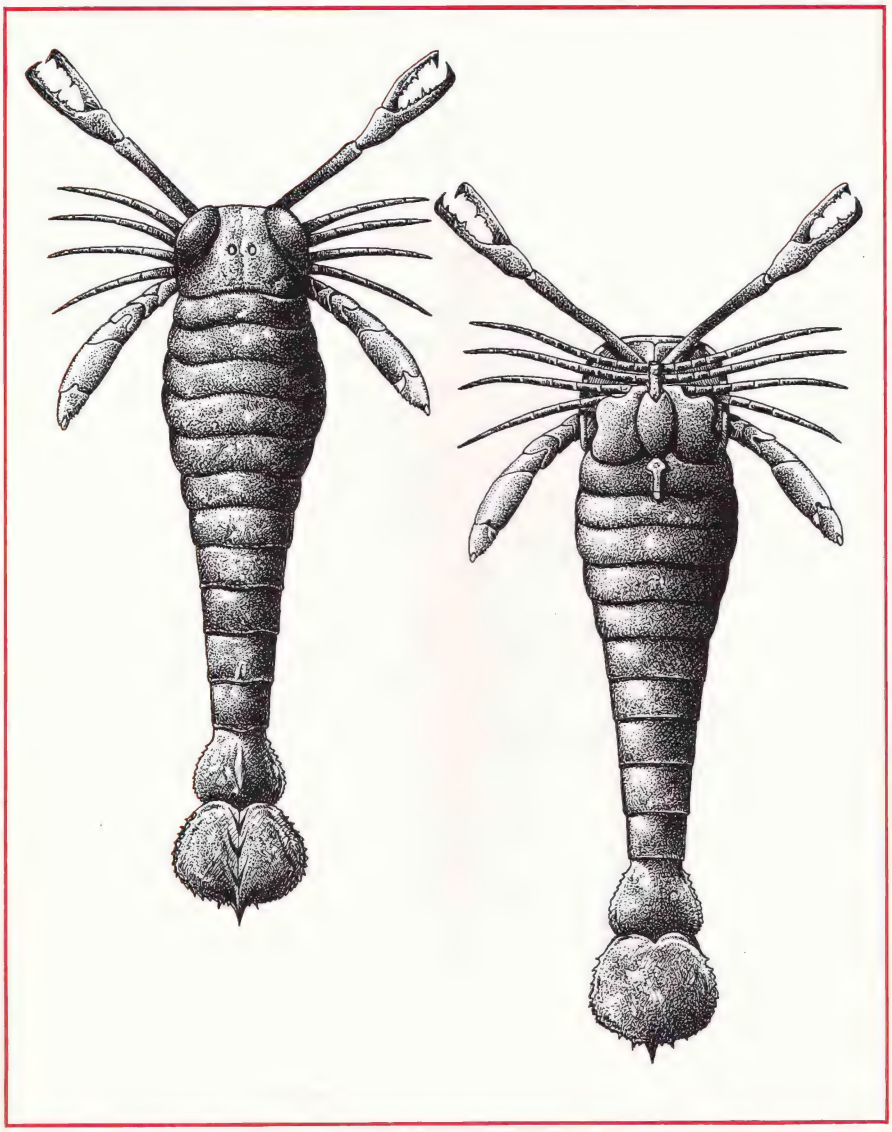
Jede Modifikation in der Population eines Ökosystems ändert das bestehende ökologische Gleichgewicht, indem mehrere Lebewesen, die bis jetzt Alleinherrscher waren, entweder erheblich reduziert oder gar

Viele verschiedene Nautiloideenarten lebten in den silurischen Meeren. Sie waren mit geraden, gekurvten oder eingerollten Schalen ausgestattet.

ausgerottet werden; diese Gesetzmäßigkeit hat für alle Zeiten Gültigkeit.

Was aber im Silur am oberen Ende der Nahrungsketten stattfand, erleichterte nicht das Schicksal der Trilobiten. Sie blieben nach wie vor die Lieblingsspeise der Zephalopoden; ihre Anzahl verringerte sich dadurch mehr und mehr. Für die Trilobiten war es der Anfang vom Ende, das zwar erst viele Millionen Jahre später vollzogen sein würde, jedoch unaufhaltsam näherkam.

Noch andere wichtige Modifikationen fanden am oberen Ende vieler Nahrungsketten statt. Eine entscheidende Rolle spielte dabei die Vermehrung der *Seeskorpione,* einer Gruppe seltsamer, schrecklicher Wassertiere, die nach ihrem bekanntesten Vertreter, dem Eurypterus, auch *Eurypteriden* genannt werden. Diese Seeskorpione waren die am weitesten entwickelten Gliederfüßer ihrer Zeit. Als „Raubtiere" waren sie mit ihrem gegliederten Panzer sogar den Nautiloideen überlegen, deren einziger Schutz eine harte, aber unbewegliche Schale war. Jedoch im

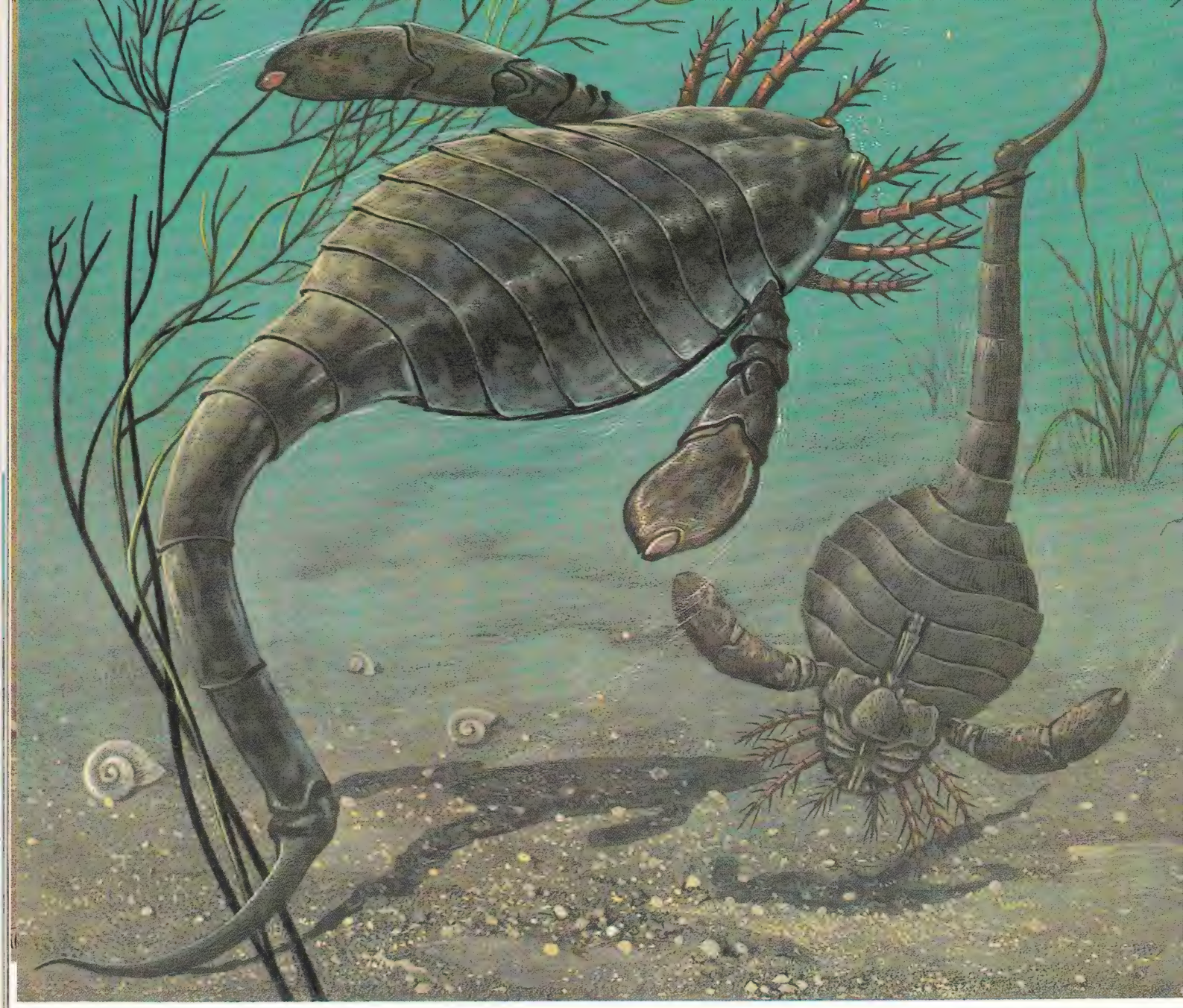


Oben: Fossile Überreste des Seeskorpions Eurypterus. Diese Fragmente stammen aus silurischen Schichtungen in Nordamerika.

Links: Rekonstruktion des großen Seeskorpions (Pterygotus) aus dem Silur. Er war über 2 m lang; links: von hinten gesehen; rechts: Bauchansicht.

Silur wurden die Eurypteriden größer und noch besser bewaffnet. Ihre Entwicklung erreichte einen Höhepunkt mit dem *Pterygotus,* einem unbesiegbaren Raubtier, das in den Lagunen des späten Silurs weit verbreitet war. Diese Monster waren mehr als 2 m lang; wo sie auftauchten, mußten sich alle anderen zuvor herrschenden Arten unterwerfen.

Der Pterygotus war der größte Gliederfüßer, der jemals gelebt hat. Er hatte zwei riesige, lange Scheren mit scharfen Einkerbungen (ähnlich wie ein heutiger Hummer), mit denen er seine Beute festhalten konnte. Vier Paar Füße dienten ihm zum Gehen; ein zusätzliches Paar, das noch größer war, benutzte er als Ruder. Ein solches Wesen konnte sich sowohl schwimmend als auch kriechend fortbewegen. Wenn es auf Beute aus war, lag es gewöhnlich flach auf dem Sand und Schlick des Meeresgrunds und lauerte auf seine Opfer. An seinem Kopf befanden sich zwei große, zusammengesetzte Augen (Facettenaugen), ähnlich



Zwei Exemplare des schrecklichen Seeskorpions Carcinosoma, mit großem Giftstachel bewaffnet. Versteinerungen dieser Lebewesen wurden in silurischen Schichtungen Nordamerikas gefunden.

wie bei den meisten Insekten heute, und zwei kleine Stirnaugen (Ozellen). Diese furchterregenden Monster hatten also eine hervorragende Sehkraft, was für sie eine beträchtliche Hilfe bei der Jagd auf Beute bedeutete.

Die Seeskorpione konnten ihre Herrschaft uneingeschränkt ausüben; denn es gab außer dem Pterygotus auch kleinere Arten derselben Ordnung. Darunter ist besonders der *Eurypterus* zu erwähnen, der über ganz Europa und Amerika verbreitet war. Von ihm sind einige vollständige, ganz und gar unbeschädigte Versteinerungen gefunden worden. Obgleich auch er ein Raubtier war, besaß er keine Scheren. Wie der Pterygotus verfügte der Eurypterus jedoch über Klauen, die zum Schwimmen und zum Kriechen auf dem Meeresgrund dienten. Daß er ein guter Schwimmer war, schließen wir aus dem Bau seiner kräftigen Hinterklauen.

Anders als der Pterygotus, dessen große Facettenaugen sich an den Seiten des Kopfs befanden, besaß der Eurypterus lediglich kleinere, einfacher gebaute Stirnaugen oben auf dem Kopf. Diese etwas eigenartige Stellung der Sehorgane (die nur nach oben sehen konnten, nicht jedoch nach unten oder nach der Seite) läßt uns vermuten, daß der Eurypterus sich gewöhnlich im Schlamm des Meeresbodens versteckte. Sichtbar war nur der obere Teil seines Kopfes. Diese Position war nicht nur sehr günstig für die Jagd nach Beutetieren, sondern sie bot auch den nötigen Schutz gegen größere Seeskorpione und die noch gefährlicheren Nautiloideen. Dank seiner Wendigkeit beim Schwimmen konnte der Eurypterus seine Bewegungsrichtung sehr schnell ändern.

Der paddelähnliche Schwanz des Eurypterus endete in einem spitzen Stachel, einer wertvollen Waffe in Notzeiten. Auch heute noch verstecken sich manche Arten (die in der Systematik des Tierreichs von den Skorpionen weit entfernt sind) im Schlamm des Meeresbodens und halten ihre Stachelschwänze samt Giftblase zur Selbstverteidigung bereit. Wir wissen nicht, ob der Schwanz des Eurypterus giftig war, aber bei einem ähnlichen Wesen, dem *Carcinosoma,* konnte sogar die Stelle der Giftblase lokalisiert werden. Viel größer als der Eurypterus, muß Carcinosoma wirklich furchteinflößend gewesen sein – ein echtes Monster. Sein Schwanz endete in einer riesigen, gekrümmten Spitze wie der eines Schwerts, und das Gift, das sich darin befand, konnte sogar die größte Beute lähmen oder töten.

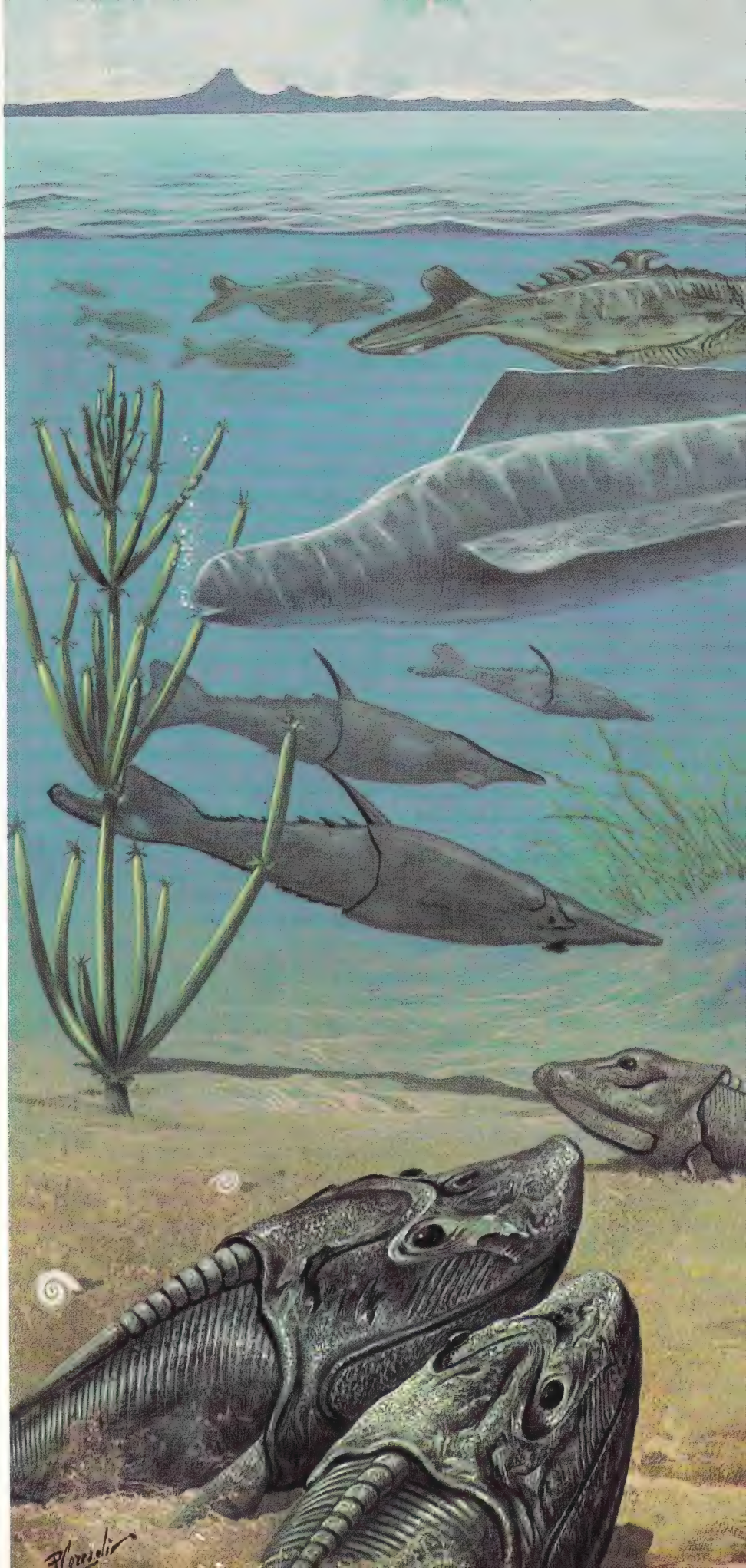
Dies also war das sagenhafte Reich der Seeskorpione im Silur. Eine so detaillierte Beschreibung war deshalb wichtig für unsere Geschichte, da gerade im Silur sich der Kampf um die Vorherrschaft zwischen den Skorpionen und den ersten primitiven Wirbeltieren zunehmend verschärfte und mit der Zeit immer mörderischer wurde. Zuerst befand sich das Skorpionenreich nur in den Küstengewässern. Später dehnten die Skorpione ihre Herrschaft auf die Lagunen, dann nach und nach auf die Flußmündungen und schließlich sogar bis in die verstecktesten Buchten aus. Zuletzt drangen die Skorpione in die Flüsse und Sümpfe vor und erreichten so das Süßwassergebiet. Damit war es vorbei mit dem sicheren Leben der Urwirbeltiere, das sie Jahrmillionen genossen hatten. Jetzt mußten sie sich gegen die gefährlichsten Wesen ihrer Zeit wehren. Wir werden später erfahren, wie sich das damals bestehende ökologische Gleichgewicht auf Grund dieser Invasion geändert hat.

Nachbildung eines Fossils des großen Seeskorpions Slimonia acuminata aus silurischen Schichtungen in England.

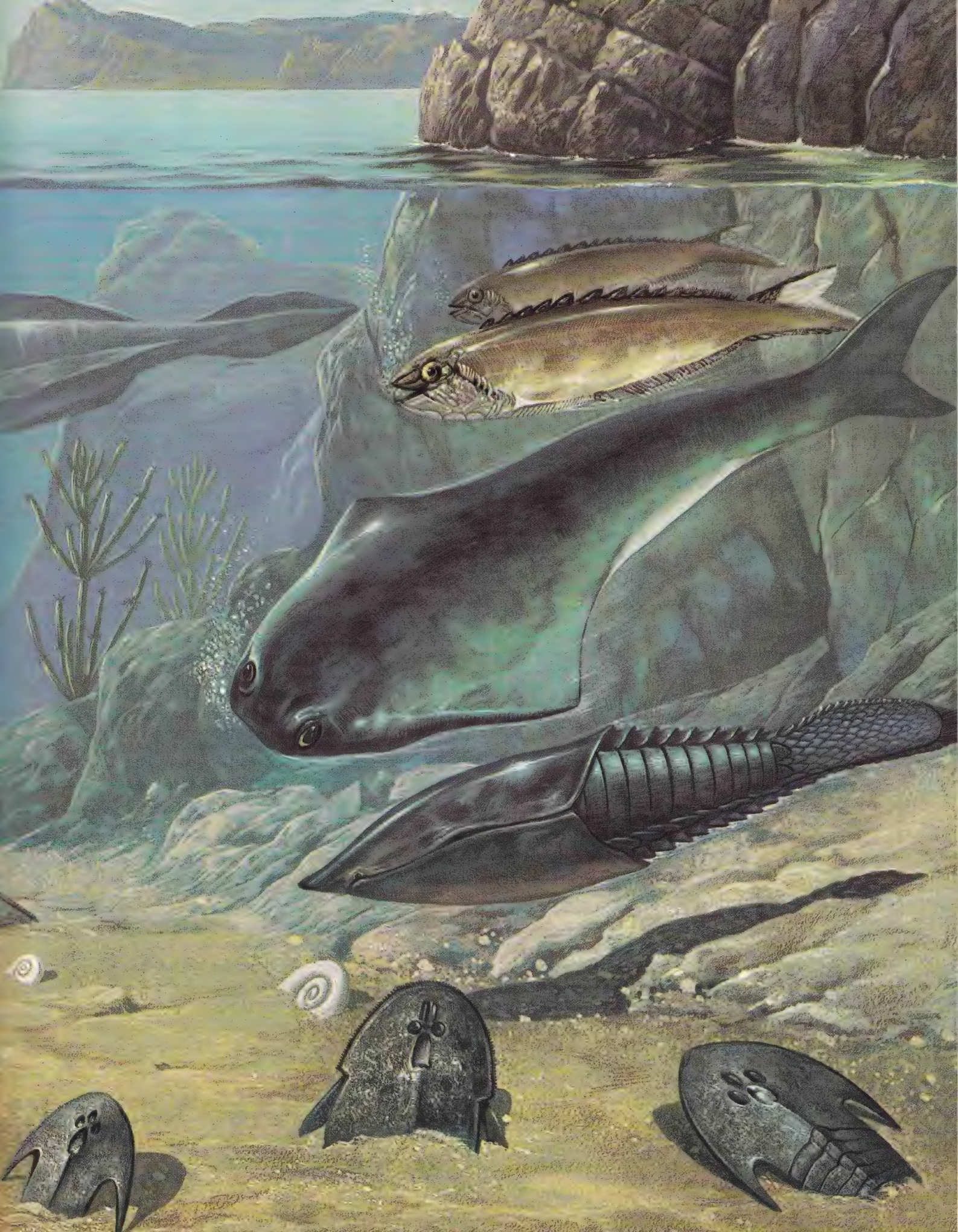
Die Ausbreitung der Fische im Silur

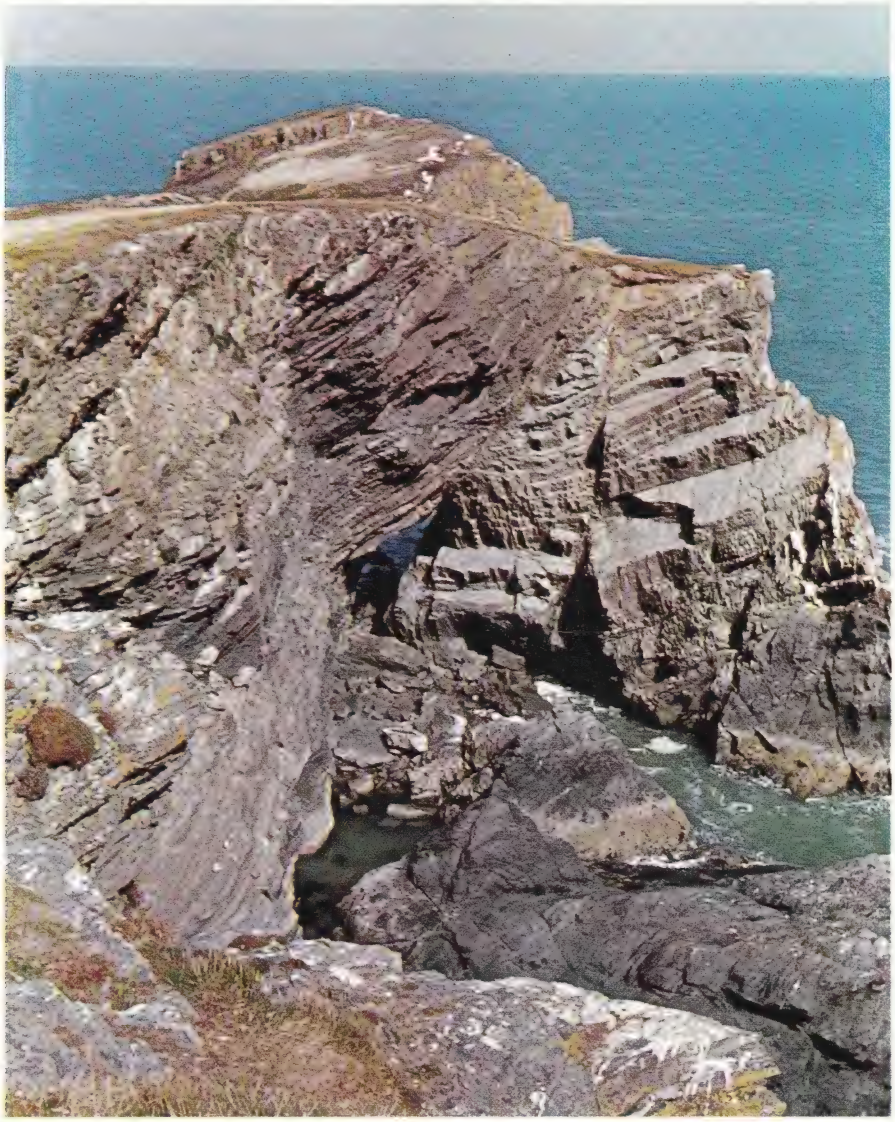
In den Schichtungen, die sich im späten Silur in den Gewässern bildeten, fand man eine große Anzahl von Nachkommen des Astraspis sowie anderer Fischarten des Ordoviziums. Die meisten von ihnen lebten in Flüssen und Seen, obwohl manche anscheinend schon zum Meer zurückgekehrt waren, wie Versteinerungen aus Meeresablagerungen beweisen. Jedoch waren solche Wanderungen nur vorübergehend, und es mußte eine sehr lange Zeit vergehen, bis Fische nochmals in Massen zum Meer zurückkehrten und sich dort allein dank ihrer Menge durchzusetzen vermochten.

Fossilien von silurischen Fischen wurden in vielen Teilen der Erde entdeckt – in Nordamerika, Nordeuropa und Sibirien, sogar in der Arktis, in dem öden Spitzbergener Archipel. Dies ist nicht allzu überraschend, da, wie wir wissen, das Klima in diesen Breiten damals sehr warm war. In diesem tropischen Klima mit seinen nahezu idealen Bedingungen gediehen und vermehrten sich die Urfische am besten, obwohl auch die



Die Welt der Kieferlosen (Agnathen) in einem See vor 400 Millionen Jahren im oberen Silur. Manche Fische lebten auf dem Seegrund, andere krochen auf dem Grund umher, wieder andere lebten freischwimmend im Wasser. Links, von oben nach unten: Ein Schwarm Birkenien; ein Jamoytius; eine Gruppe von Pteraspis; eine Gruppe von im Schlamm eingegrabenen Hemicyclaspis; ein kleiner Thyestes, der aus dem Schlamm herausschaut. Rechts, von oben nach unten: Zwei Vertreter von Rhyncholepis; Lanarkia; Anglaspis; Didymaspis, halb im Meeresboden versteckt; ganz rechts ein Thyestes in derselben Position.





Silurische Schichtungen an der Küste von Cardigan in Wales.

lauwarmen Gewässer der Kontinente von Leben erfüllt waren. Die Folge war, daß sich natürlicherweise viele verschiedene Arten von Fischen entwickelten, während sie versuchten, sich den unterschiedlichen Umweltbedingungen anzupassen und von ihnen zu profitieren. Dies kann man aus den Fossilfunden schließen.

Unglücklicherweise sind alle denkbaren Zeugnisse für diesen Prozeß entweder verloren oder noch nicht gefunden. Dies hat einen sehr einfachen Grund. Man müßte nämlich, um sie zu finden, Schichten von Süßwasserablagerungen untersuchen, die jedoch sehr selten sind. Zwar wurden eine ganze Reihe von ihnen aus dem Silur entdeckt, aber nur im oberen Teil der Felsen, die etwas über diese Periode aussagen könnten. Es gibt also in unserer Kenntnis von der Geschichte der Fische vom mittleren zum oberen Ordovizium eine Lücke, die den Kampf um die Vorherrschaft zwischen Fischen und Wasserskorpionen betrifft. Leider haben wir keine Möglichkeit, diese Lücke zu schließen.

Die Entwicklung der Fische im Silur: Vorspiel zur Evolution der Wirbeltiere

Seltsame Fische mit gepanzertem Kopf

Die bekanntesten unter den silurischen Fischen (und auch die erstaunlichsten zugleich) waren die Fische mit Kopfpanzer. Sie gehörten zur Klasse der *Zephalaspidomorphen.* Obwohl die meisten Fossilien von Individuen dieser Unterklasse aus Perioden nach dem Silur stammen, wissen wir, daß solche Fische bereits gegen Ende des Silurs existiert haben. Von oben gesehen, glichen die Köpfe dieser Fische einem mehr oder weniger großen, manchmal ziemlich bizarren Schild, der an einer Stelle abgeschnitten war, damit der Rest des Körpers dort eingefügt werden konnte.

Bei den Vertretern der Gattung *Didymaspis,* Winzlingen von etwa 7 cm Größe, ragte dagegen nur der Schwanz heraus. Bei den noch kleineren Vertretern von *Thyestes* und *Hemicyclaspis* bedeckte der Schild nur den Kopf. Hemicyclaspis war im übrigen der Vorfahr der späteren *Panzerfische,* die (mit fast 20 cm Länge), verglichen mit den eben erwähnten Urpanzerfischen, fast Giganten waren. Wenn der Schild kleiner war, besaß er gewöhnlich zwei nach hinten gerichtete Spitzen wie bei *Sclerodus.*

Die Körper jener schuppenbedeckten *Urpanzerfische* waren mit diesen mehr oder weniger seltsam geformten Schilden verbunden. Auf ihrem Rücken und auch unter der Schwanzspitze trugen sie *Flossen.* Es waren also zu diesem Zeitpunkt bereits Flossen vorhanden, die allerdings hinsichtlich Form und Struktur noch sehr primitiv waren. Bestimmte Elemente dieser Flossen verstärkten sich weiter bei höher entwickelten Fischarten späterer Perioden und sind bis heute ein spezifisches Merkmal der Fische geblieben.

Panzerkopffische spielen Versteck

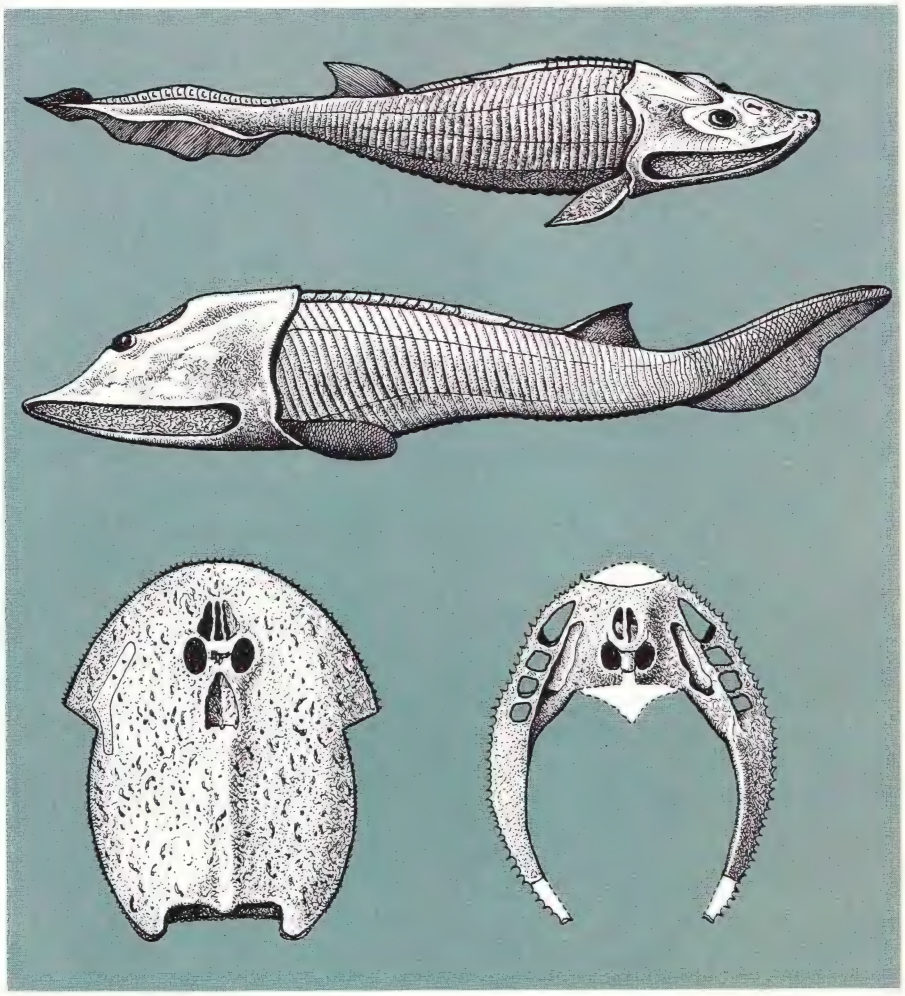
Die Köpfe der Fische aus der Zephalaspisgruppe waren oben buckelig. Auf dem Buckel befanden sich nahe beieinander zwei kleine Augen. Zwischen den Augen saß in einem kleinen Loch, dem sog. *Pinealloch,* ein winziges Hilfsauge, das in der Evolutionsgeschichte der Wirbeltiere immer wieder auftaucht. Vor diesem merkwürdigen Drei-Augen-System

lag eine einzige Nasenöffnung. Der kieferlose Mund befand sich auf der Unterseite des Kopfs.

Die Tatsache, daß Augen und Nasenöffnung dieser Fische oben auf dem Kopf so dicht beieinander lagen, läßt vermuten, daß die Fische ihre Umwelt von einem sicheren Versteck aus beobachteten. Aber wie sah dieses Versteck aus? Es kommen dafür wohl nur der Sand und Schlick des Meeresbodens in Frage, da es den Fischen nur dort möglich war, sich so tief einzugraben, daß lediglich ihre Sinnesorgane herausschauten. Der Kopf dieser Fische war im übrigen durch einen knöchernen Panzer geschützt, während Körper und Schwanz oft frei und ungeschützt waren. Also ist es nur logisch, anzunehmen, daß die ungeschützten Weichteile versteckt, d. h. in den Meeresboden eingegraben werden mußten.

Die Panzerkopffische entnahmen ihre Nahrung dem Wasser, das ihnen ständig zur Mundöffnung hinein- und durch die Kiemenöffnungen wieder herausströmte; dabei dienten die Kiemenöffnungen als Filter. Bei Gefahr grub sich der Panzerkopffisch sofort tief in den Schlamm ein. Sichtbar blieb dann nur die Kopfspitze mit den drei Augen und der Nasenöffnung. Manchmal verließen die Fische auf der Suche nach

Linke Seite: Rekonstruktion von Hemicyclaspis, eines typischen kieferlosen Fischs mit knöchernem Kopfpanzer.



Links: Rekonstruktion eines Hemicyclaspis (oben; ungefähr 20 cm lang); Mitte: Cephalaspis (Länge 25–30 cm); unten: Kopfschild von Didymaspis und der seltsame Panzer des Sclerodus, eines kleinen Fischs im Silur (England).

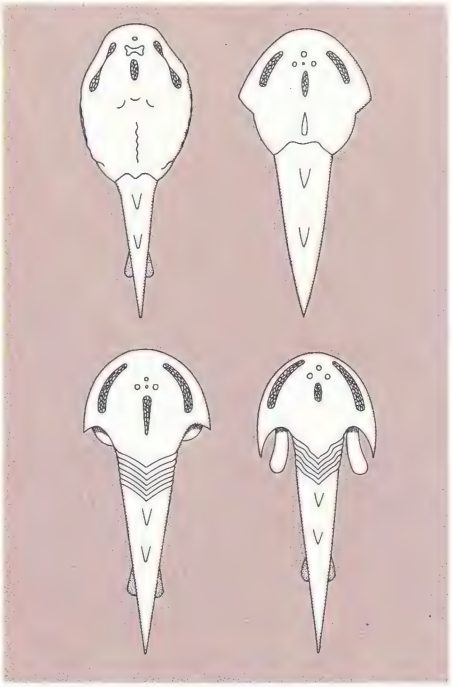
günstigeren Lebensbedingungen ihre Schlammlöcher; sie bedienten sich dann ihrer Flossen zur Fortbewegung.

Elektrische Fische

Stellen wir uns jetzt einmal den Grund eines Sees im oberen Silur vor. Dort finden wir alle die seltsamen Fische, von denen wir oben berichtet haben, halb im Schlamm eingegraben und ausschließlich darauf bedacht, Nahrung einzusaugen. Stellen wir uns weiter vor, daß einige Hinterhältige Seeskorpione sich gemächlich durch das Wasser bewegen. Unvermittelt schießt dann einer der Seeskorpione vor, in Richtung auf einen der gepanzerten Fische. Etwas Erstaunliches wird geschehen: Der Skorpion wird sich zuckend zurückziehen, weil er statt des erhofften Leckerbissens einen starken elektrischen Schlag einheimsen mußte.

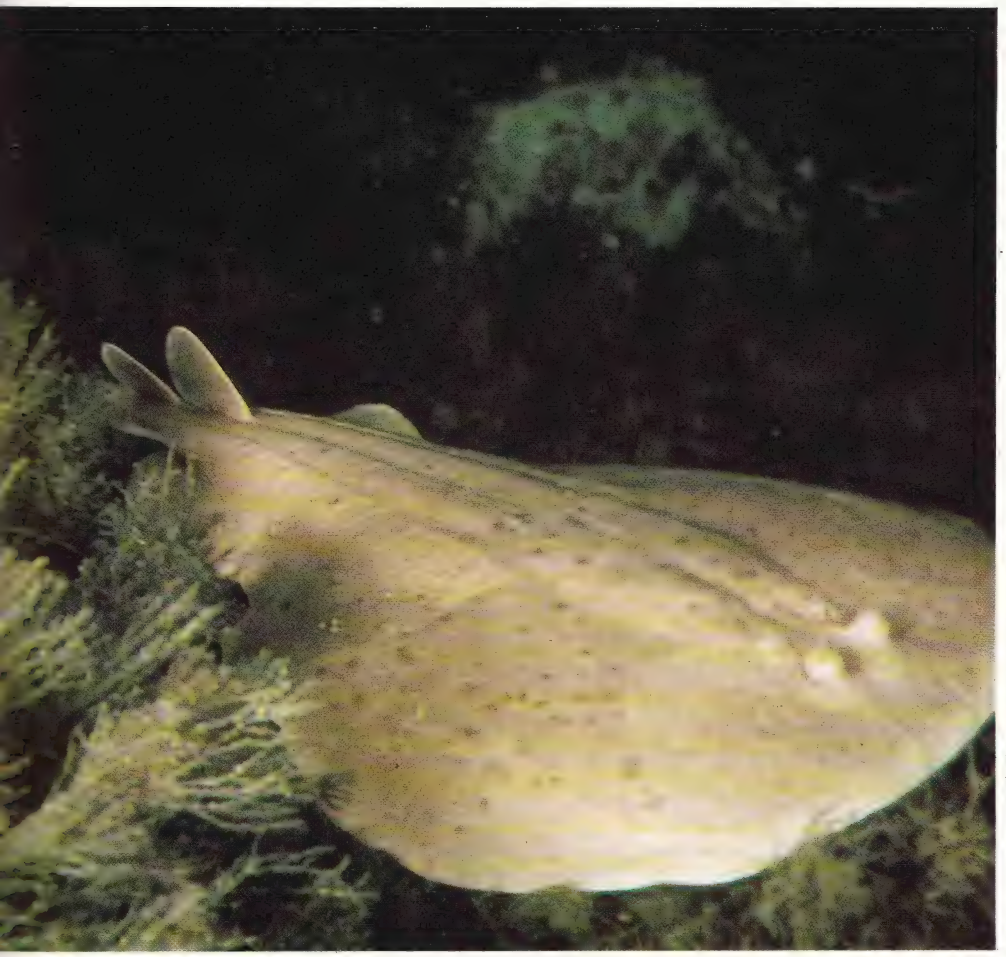
Wir kennen Fische, die Elektroschocks austeilen können, aus unserer heutigen Zeit. Der bekannteste unter ihnen ist der *Zitterrochen.* Sein abgeflachter Körper enthält zwei symmetrische elektrische Organe, etwa von der Form einer Bohne, die durch eine Reihe von Nerven mit dem Gehirn verbunden sind. Der Zitterrochen ist ein Raubfisch. Er benutzt seine „Batterien" sowohl dazu, seine Beute zu betäuben, als auch zur Selbstverteidigung. Wenn die Ladung der Batterien schwächer wird, dienen sie ihm als eine Art Radar zur Ortung möglicher Hindernisse oder Feinde (selbst aus größerer Entfernung).

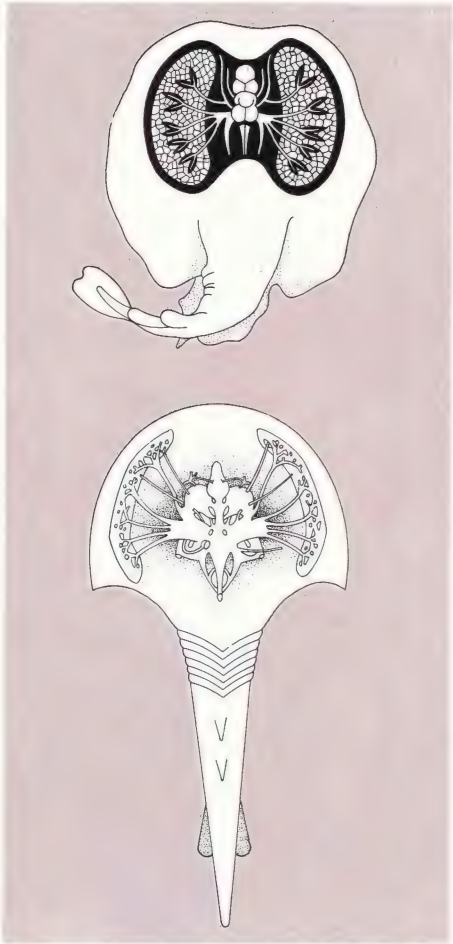
Evolutionsfolge einer Gruppe von Fischen aus dem Silur und den darauffolgenden Perioden. Hier wird gezeigt, wie die Panzerung der Fische allmählich immer mehr abnahm. Von links oben: Trematastpis; Oeselaspis; Kiaeraspis und Cephalaspis. Am Ende dieser Evolutionsperiode waren die Fische, ohne ihren schweren Panzer, viel beweglicher geworden.



Die Fische mit dem gepanzerten Kopf waren ähnlich gebaut wie der Zitterrochen. Die Wissenschaftler haben große Geduld aufgewandt, um mit Hilfe höchst verfeinerter Techniken die wohlbewahrten Fossilien dieser Fische zu untersuchen. Zu ihrer großen Überraschung fanden sie in den Köpfen der Fische „Batterien", die den oben beschriebenen ähneln, sowie eine „Batterie" am Rücken, unmittelbar hinter den Augen. Schließlich entdeckten sie auch das komplexe System von Nerven, die diese Organe mit dem Hirn verbanden. Abermals also können wir feststellen, daß sich anatomische Strukturen, die 400 Millionen Jahre alt sind, in Lebewesen von heute wiederfinden, die sich in ihrer Struktur von den ausgestorbenen Lebewesen stark unterscheiden.

Da wir den heutigen Zitterrochen kennen, sind uns wohl auch einige Vermutungen über die „elektrischen Batterien" der primitiven Agnathen gestattet. Wir nehmen an, daß sie sich um der Selbstverteidigung willen entwickelt haben, als die Seeskorpione begonnen hatten, die Flußbetten und Seeböden heimzusuchen. Da bot die Panzerung keinen hinlänglichen Schutz mehr, und die Fische konnten sich auch nicht mehr einfach in den Schlamm eingraben. Zunächst haben die Batterien dabei vermutlich nur als Warnsystem gedient, als eine Art Radar; denn sie waren ursprünglich nichts weiter als zusätzliche Sinnesorgane, wenn auch Organe von größter Wichtigkeit für Lebewesen von schwacher Sehkraft (wie sie für die damaligen Fische offenbar typisch war). Die Mutationen im Bereich dieser Organe haben sich sozusagen in bezug auf das Überleben und die Vermehrung „bezahlt gemacht". Die natürliche Auslese half jeweils denjenigen Gruppen, die mit den besser entwickelten Organen ausgestattet waren und ihre Feinde vorübergehend lähmen oder töten konnten. So griffen die Fische mit den gepanzerten Köpfen mit Hilfe der Organe, die ursprünglich als Warnsystem gedient hatten, folgerichtig zur unmittelbaren Selbstverteidigung. Einige Wissenschaftler bestreiten die Möglichkeit einer solchen letzten





Entwicklungsphase und glauben, daß die Batterien der Agnathen niemals über die Funktion des „Radars" hinausgelangt seien. Wir meinen dennoch, daß der Befund der Fossilien eher die These stützt, diese Organe hätten zuletzt einen solch hochdifferenzierten Entwicklungsgrad erreicht, in welchem sie starke Elektroschocks auszuteilen vermochten.

Oben links: Der Zitterrochen, einer unserer rezenten Fische, der mit elektrischen Organen ausgestattet ist.

Fische mit gegliedertem Panzer

Fischschwärme verschiedener Art schwammen über dem Meeresboden, wo die Panzerkopffische fast bewegungslos verharrten und das Wasser ringsumher mit ihren kleinen, unbeweglichen Augen beobachteten. Diese anderen Fische waren nicht auf Sand und Schlamm als Lebensraum angewiesen und hatten deshalb einen andersartigen Körperbau. Auch sie waren gepanzert, aber nicht mit einer einzigen harten Schale; ihre Panzer waren vielmehr gegliedert. Der typische Vertreter dieser Gruppe war der 15 cm lange, hydrodynamisch gebaute *Pteraspis.* Sein Körper flachte zum Kopf hin ab, der ebenso wie ein Großteil des Körpers durch einen schweren, ovalen Panzer geschützt war.

Auch bei diesem Fisch ragte der Schwanz aus dem Panzer heraus und war heterozerk, d. h. in zwei nicht symmetrische Hälften geteilt. Aber

Oben rechts: Es besteht eine erstaunliche Ähnlichkeit zwischen dem Zitterrochen und den 400 Millionen Jahre alten Agnathen der Cephalaspisgruppe. Oben: die zwei elektrischen Organe eines Zitterrochens mit den Nerven, die sie mit dem Gehirn (in der Mitte) verbinden; unten: die zwei seitlichen elektrischen Organe von Kiaeraspis, mit Nerven und Gehirn.

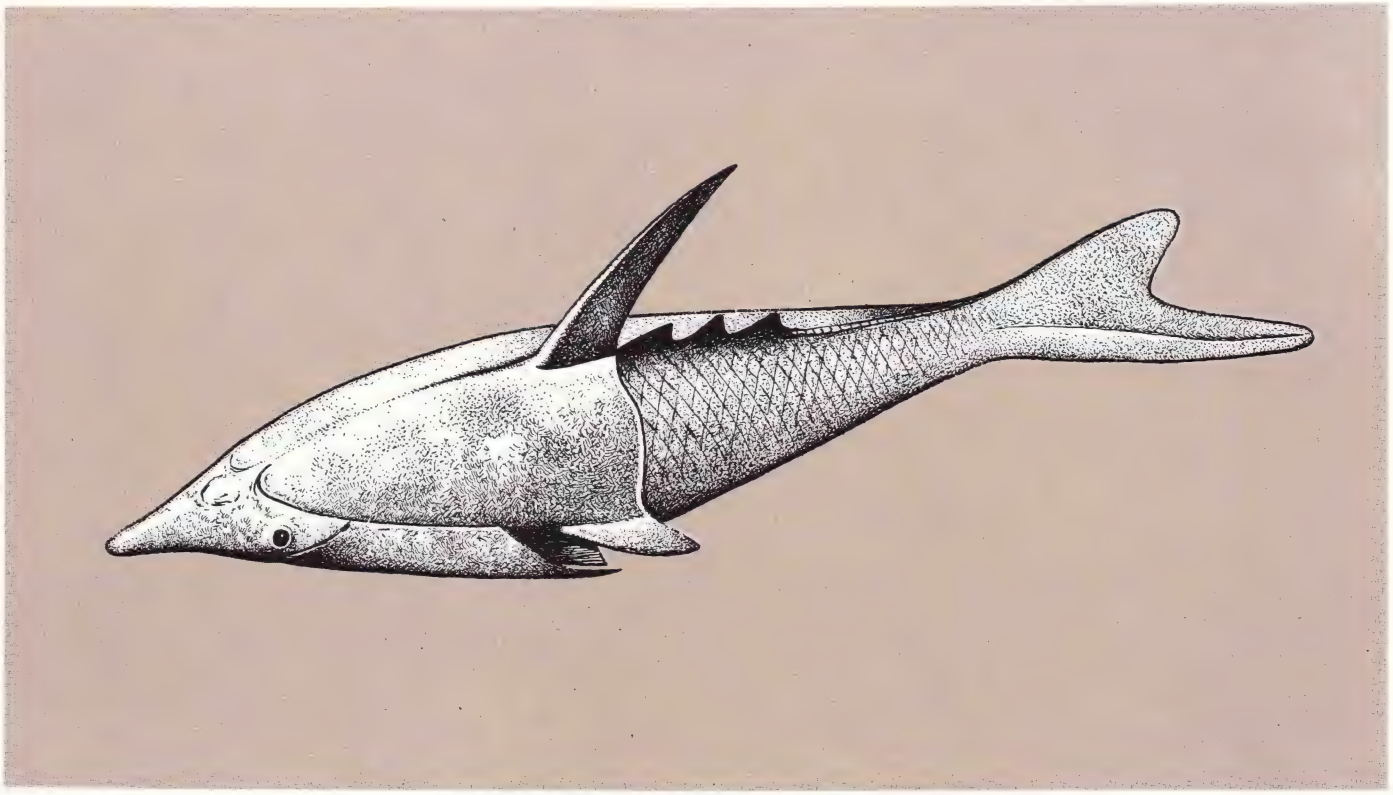
anders als bei den Panzerkopffischen, die auf dem Meeresgrund lebten, befand sich der kürzere Teil der Schwanzflosse des Pteraspis auf der Oberseite des Körpers, genau umgekehrt also wie bei dem heute lebenden Hai. Obgleich mit Schuppen versehen, war der Schwanz von Pteraspis der gefährdetste Körperteil, auch wenn der Panzer im Schwanzbereich in eine scharfe, nach hinten gerichtete Spitze auslief, die eine hervorragende Schutzeinrichtung gegen hinterlistige Angreifer abgegeben haben muß.

Pteraspis besaß nicht die spezifische Kombination von Sinnesorganen an der Kopfspitze wie die Panzerfische. Seine beiden Augen waren an den Seiten des Kopfes lokalisiert, sie lagen also weit auseinander; ein drittes Auge (Stirnauge) fehlte.

Hätte Pteraspis sich in den Meeresschlamm eingegraben, wäre er sowohl blind wie wehrlos gewesen, da der Oberteil seines Panzers keine Sinnesorgane und keine „elektrischen Batterien" hatte; er wäre seinen Feinden hilflos ausgesetzt gewesen. Obgleich also Pteraspis viel Zeit auf dem Meeresboden verbrachte, grub er sich bestimmt nicht ein. Er lebte eng mit dem Meeresgrund verbunden und kroch darauf herum, konnte aber auch, wenn er auf Nahrungssuche ging, frei im Wasser herumschwimmen.

Bezüglich der Nahrungsaufnahme war Pteraspis weiter entwickelt als die Vertreter der Cephalaspisgruppe. Unter seinem auf der Bauchseite liegenden Maul befanden sich knöcherne Teile, die sich seitwärts bewegen konnten. Der Pteraspis muß sein Maul ähnlich wie die heutigen Fische bewegt haben; da er aber kieferlos war, öffnete er es nicht, indem er einen unteren und einen oberen Teil jeweils nach unten bzw. oben

Der Pteraspis, ein Mitglied der Agnathen, etwa 15 cm lang und mit einem Panzer versehen, der aus mehreren Schuppen bestand.



bewegte, sondern durch Erweiterung oder Zusammenziehung an den Seiten. Dieser Versuch der Natur, die Urwirbeltiere mit einem beweglichen Mund auszustatten, ist bewundernswert. Später ging die natürliche Auslese in eine andere Richtung. Das Experiment mit Pteraspis erwies sich gleichwohl für viele Millionen Jahre als durchaus sinnvoll, auch wenn es im Verlauf der Entwicklungsgeschichte nicht mehr weiter ausgebaut wurde.

Andere dem Pteraspis ähnliche Lebewesen bildeten Fischpopulationen mit gegliedertem Panzer, die sich zwischen den Algen in Seen oder über den Sandböden der Ströme und Flüsse bewegten, immer nahe am Gewässergrund. Es gab darunter einige wirklich erstaunliche Fische, z. B. den winzigen *Anglaspis,* der vollständig mit gegliederten Knochenringen bedeckt war, aus denen nur die Schwanzspitze mit asymmetrischer Flosse herausschaute. Dieses seltsame Wesen sah aus wie eine Kopie jener mittelalterlichen Ritter, die von Kopf bis Fuß gepanzert waren.

Beispiele eines heterozerken oder asymmetrischen Schwanzes. Oben: der Schwanz des heutigen Hundshais (ein normaler oder dorsalheterozerker Schwanz). Mitte: Schwanz des Cephalaspis, vom selben Typ. Unten: Der hypozerke Schwanz des Pteraspis.

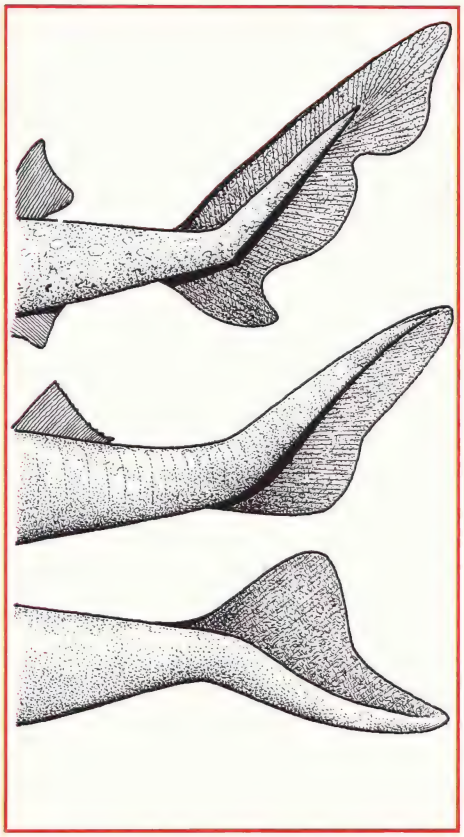
Stacheln, Schuppen und glatte Haut

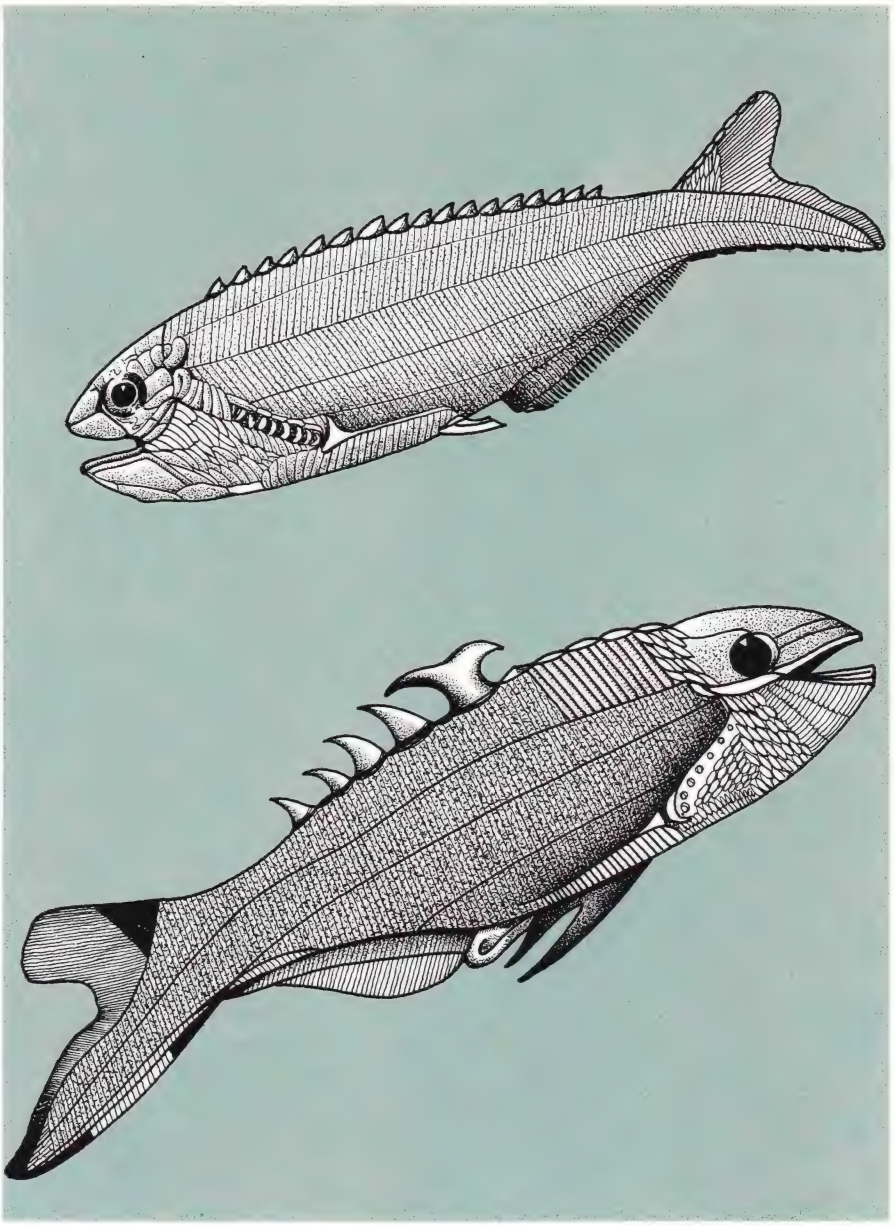
Die Pteraspisarten waren direkte Nachkommen des ordovizischen Astraspis. Sie stellten die jüngsten Sprosse am Stamm der Agnathen dar, der sehr lebenskräftig war und noch nach 50 Millionen immer neue Arten hervorbrachte.

In der gerade erwähnten Gruppe z. B. gab es Fische, die überhaupt keine Spur von Panzer mehr hatten. Statt dessen wurden ihre Körper von einzelnen Schuppen bedeckt, deren Spitzen mehr oder weniger nach außen zeigten. Diese Schuppen waren rauh und stachelig und darum sehr wehrhaft. Der bekannteste Vertreter dieser Gruppe war der *Thelodus,* von dem es so reichhaltige Fossilienfunde gibt, daß eine genaue Rekonstruktion seines Körpers möglich war. Da der Körper dieser Fische nicht von schweren Knochenplatten und Schilden umgeben war, entwickelten sie Formen, die man fast als „normal" bezeichnen könnte, besonders im Vergleich zu ihren schwer gepanzerten Artgenossen. Das Vorderteil ihres Körpers war breiter und abgeflacht, so daß sie eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Manta oder Zitterrochen von heute hatten. Ihre Augen jedoch saßen vorn am Kopf und lagen weit auseinander, ähnlich wie bei Pteraspis.

Als sie erstmals entdeckt wurden, glaubten die Zoologen, daß sie Agnathen in einem sehr primitiven Stadium seien, d. h. daß sie im Begriff wären, einen Panzer zu entwickeln. Heute wissen wir, daß genau das Gegenteil davon richtig ist und daß sie schon eine hochentwickelte Stufe darstellten: Ihre kompakten, primitiven Panzer hatten sich bereits in Schuppen aufgeteilt.

Andere Fische, die keineswegs an die Meerestiefen gebunden waren, schwammen frei in den Urgewässern umher, manchmal sogar an der Oberfläche. Es waren kleine, seitlich abgeflachte, vermutlich (wie die heutigen tropischen Fische) lebhaft gefärbte Fische, die kleine, regelmäßig angeordnete Schuppen besaßen. Dadurch waren sie nicht durch einen gegliederten Panzer behindert. Ihr heterozerker Schwanz war von einer nach oben gerichteten Flosse umsäumt. Am bekanntesten unter diesen Fischen ist *Birkenia* (ca. 10 cm lang, durch eine Reihe von Knochen auf dem Rücken gekennzeichnet), ein entfernter Verwandter des heutigen Neunauges.

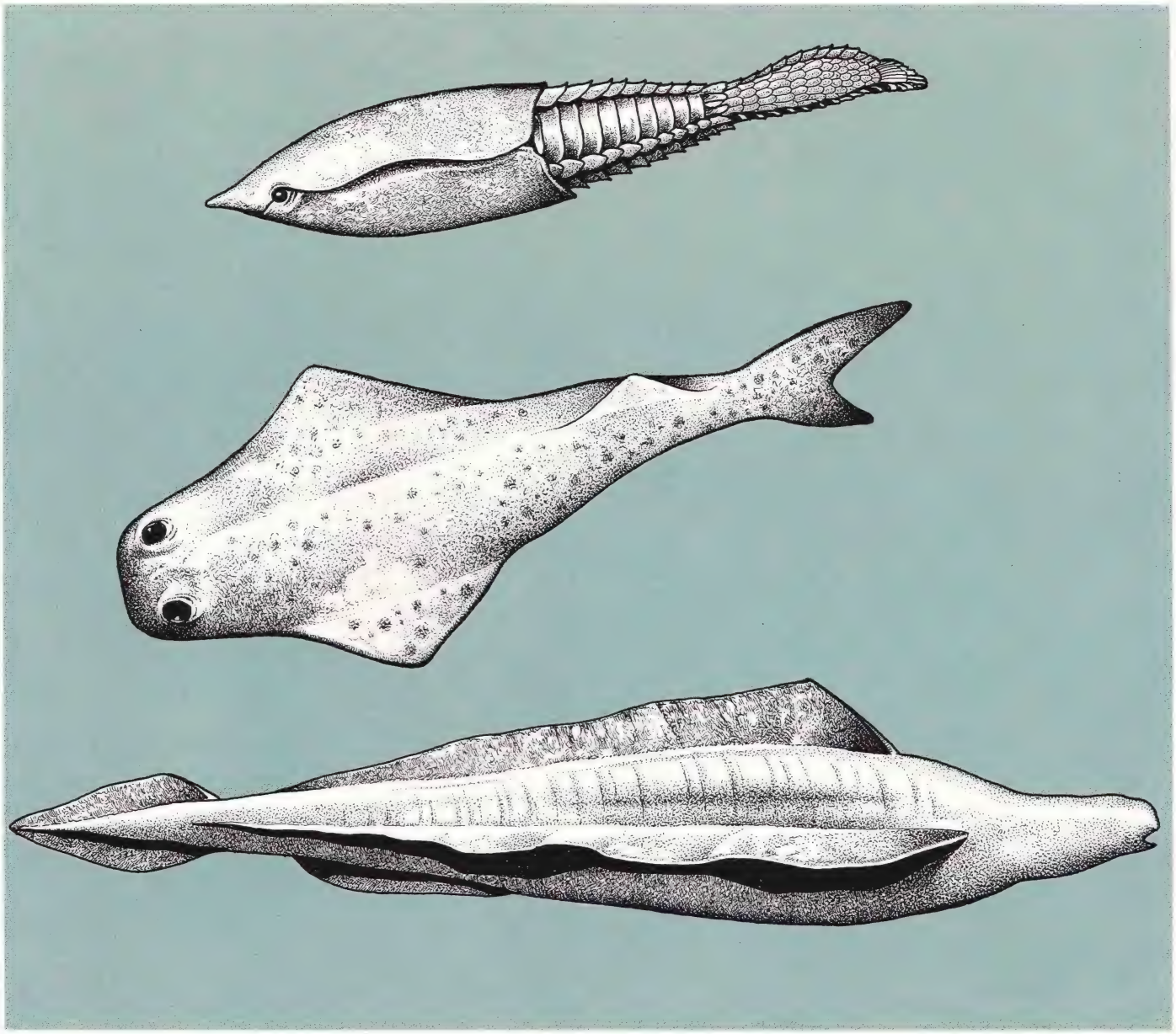




Rekonstruktion zweier kleiner Agnathen aus dem Silur. Oben: Rhyncholepis (Länge etwa 7 cm). Unten: Birkenia (etwa 10 cm lang).

Bis jetzt haben wir nur solche Fische kennengelernt, die mit einem Panzer, mit Knochenringen oder wenigstens mit Schuppen ausgerüstet waren.

Unter all diesen gepanzerten oder sonstwie bewehrten Fischen gab es jedoch auch solche, die fast wehrlos waren. Dazu zählt der ca. 25 cm lange, torpedoförmige *Jamoytius,* von dem man 1946 Spuren in Schottland gefunden hat. Er hatte sehr breite Flossen, aber nur rudimentäre Schuppen. Seine einzige Verteidigungsmöglichkeit bestand wohl darin, daß er besonders schnell schwimmen konnte. Solche Fische mit einem völlig glatten, wehrlosen Körper, die sich auf oder über dem Meeresboden bewegten, waren wohl die letzten Vertreter der primitiven Agnathen.



Das war sie also – die bunte Welt der silurischen Agnathen, eine Welt von Lebewesen, die fast alle gut geschützt und bestens an ihre Umgebung angepaßt waren. Sicher lebten sie in einem vollkommenen biologischen Gleichgewicht in den Lebensgemeinschaften, die es damals gab. Mit diesen Agnathen jedoch sind nicht alle Fische jener Erdperiode erfaßt. Es fehlen noch gewisse kleine, scheinbar unbedeutende Wesen, die jetzt erst auf der Bühne des Lebens erscheinen und in denen die Natur erstmals mit dem außerordentlichen Phänomen eines gegliederten Mundes experimentiert. Gemeint sind die ersten Vertreter der mit einem Kiefer ausgestatteten Fische (die sog. Kiefermäuler), die Vorfahren der zukünftigen Hauptakteure des Lebens. Wir werden in Kürze ihre spannende Geschichte verfolgen können.

Rekonstruktion dreier Agnathenarten aus dem Silur. Oben: Anglaspis (etwa 15 cm lang), völlig von einem gegliederten Panzer bedeckt; Mitte: Thelodus (etwa 20 cm lang), mit abgeflachtem Körper, der mit einzelnen, voneinander getrennten Schuppen versehen war; unten: Jamoytius (etwa 25 cm lang), wie ein Torpedo gebaut, ohne Panzer und mit langen Flossen ausgestattet.

Eine Gruppe rezenter tropischer Fische auf einer Korallenbank. Die Leuchtkraft ihrer Farben ist überwältigend.

Gliederfüßer und grüne Pflanzen erobern das feste Land

Versteinerte Urskorpione

Im Jahre 1884 suchte ein schwedischer Wissenschaftler namens Lindström in den silurischen Ablagerungen der Ostseeinsel Gotland nach Fossilien. Plötzlich erregte etwas Erstaunliches seine Aufmerksamkeit. Auf einem dünnen Felssplitter, der in zwei Teile gebrochen war, sich jedoch leicht wieder zusammensetzen ließ, sah er einen kleinen, versteinerten Skorpion, der ganz ähnlich aussah wie die heutigen Skorpione. Es war, als hätte über eine Zeitspanne von Hunderten von Millionen Jahren hinweg eine Stimme gesprochen, um von einem Sieg zu berichten, den die damaligen Wassertiere in grauer Vorzeit auf dem festen Land errungen hatten. Dieser kleine Skorpion wurde sehr treffend *Palaeophonus nuntius* genannt, was etwa „uralte Stimme der Verkündung" bedeutet.

Kurze Zeit nach Lindströms Entdeckung wurde bekannt, daß schon 1883 eine Skorpionversteinerung in silurischen Ablagerungen Schottlands gefunden worden war, ohne daß man sich damals der Bedeutung dieses Fundes bewußt gewesen wäre. Zweifellos zeigten die Funde, daß im Silur tierische Lebewesen das Wasser verlassen und sich auf das feste Land vorgewagt hatten. Es waren ausgerechnet die heute von den Menschen oftmals so gehaßten und verachteten Gliederfüßer, die von der Natur als Pioniere für dieses Abenteuer der Landnahme ausgewählt worden waren.

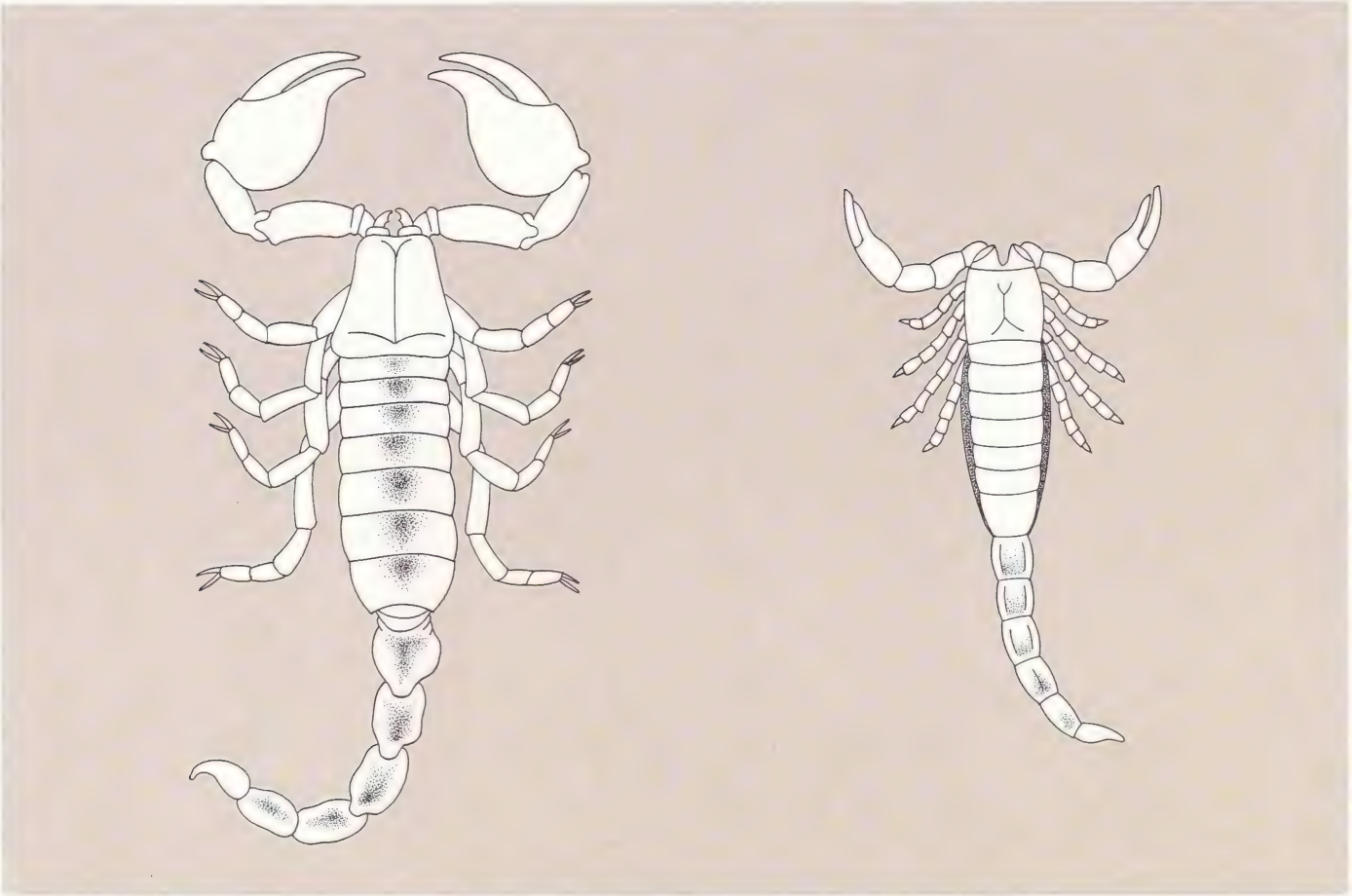
Der *silurische Skorpion* war an seinem schlanken und schwanzförmig auslaufenden Hinterkörper stärker segmentiert als seine rezenten Nachfahren. Er war sehr klein und hatte schwach entwickelte Beine. Im Gegensatz zu seinen heutigen Verwandten, die lange, bewegliche Beine besitzen, ähnelten seine Beine denen der großen Seeskorpione: Sie befähigten sie zwar, auf dem seichten Meeresboden herumzukriechen, sie waren jedoch nicht geeignet, längere Zeit auf festem Land herumzuspazieren. Viele Forscher meinten daher, daß sie sich hauptsächlich im Wasser aufgehalten und nur selten festes Land betreten hätten. Wie auch immer, ihre Ähnlichkeit mit den rezenten Skorpionen ist jedenfalls zu groß, als daß man ihre Rolle als Pioniere der späteren Landtiere übersehen könnte.

Eine Versteinerung von Palaeophonus nuntius, die 1884 in den silurischen Schichtungen auf der Ostseeinsel Gotland gefunden wurde. Der Palaeophonus, der den heutigen Skorpionen ähnelt, war das erste uns bekannte Lebewesen, das auf dem Land lebte.

Das Geheimnis vom Ursprung der Landskorpione

Die Frage ist noch unbeantwortet, wie sich diese winzigen amphibischen Wesen des späten Silurs entwickelt haben. Woher kamen sie? Die Annahme, einige Arten der Seeskorpione, klein und mit nur geringen Bedürfnissen, könnten sich zu Landgliederfüßern entwickelt haben, liegt auf der Hand. So einfach kann es jedoch nicht gewesen sein. Es gab da eine Reihe struktureller Unterschiede zwischen beiden Gruppen. Die Scheren z. B., mit denen die Landskorpione ihre Beute ergreifen, haben sich aus einem abgewandelten Extremitätenpaar entwickelt. Die Seeskorpione dagegen besaßen fünf ausschließlich der Fortbewegung dienende Beinpaare. Das bedeutet, daß die Linie der Gliederfüßer, die sich zu Landskorpionen entwickelte hat, schon zur Zeit des Pterygotus und Eurypterus uralt war. Diese Linie muß sich von der der Vorfahren der großen Seeskorpione getrennt und sich unabhängig davon entwickelt haben, obwohl sie keine Fossilien hinterlassen hat. Tatsächlich ist im Hinblick auf die allgemeine körperliche Beschaffenheit eine „entfernte" Verwandtschaft zwischen beiden Linien nicht zu leugnen.

Wenn wir weiter forschen und nach den eigentlichen Ursprüngen Ausschau halten, finden wir – genau wie bei den Fischen – verblüffende und unerwartete Zwischenglieder. Die urzeitlichen Seeskorpione wurden als eine eigene Ordnung der Gliederfüßer klassifiziert. Diese unter dem Namen *Merostomata* geführte Kategorie schließt auch die unbekannten Vorfahren der Spinnentiere im weiteren Sinne ein (Landskor-



Vergleich zwischen einem großen Skorpion von heute und dem Palaeophonus des Silurs. Zwischen beiden gibt es eine klar erkennbare Verwandtschaft.

pione, Spinnen und Milben). Diese Ordnung ist auch heute noch nicht vollständig ausgestorben. Sie umfaßt einige Lebewesen, die gewisse Eigenschaften ihrer urzeitlichen Vorfahren bewahrt haben (sie tragen deshalb zu Recht den Namen *lebende Fossilien*). Es handelt sich um die *Pfeilschwanzkrebse,* die man in großer Zahl an der atlantischen Küste von Nordamerika und auch an den Küsten von Japan bis Neuguinea findet. Sie besitzen zur Verteidigung einen langen hinteren Stachel und eine kräftige Rückenschale, die sich an den Seiten weitet. Als Larven jedoch sind sie den Trilobiten sehr ähnlich.

Damit ist nun endlich, wenn auch nur andeutungsweise, eine Beziehung zwischen Skorpionen und Trilobiten erkennbar: Die Spinnentiere von heute sind durch die Merostomata mit den Spinnentieren des Kambriums verwandt; ihr gemeinsamer Ursprung liegt irgendwo im Dunkel des Präkambriums.

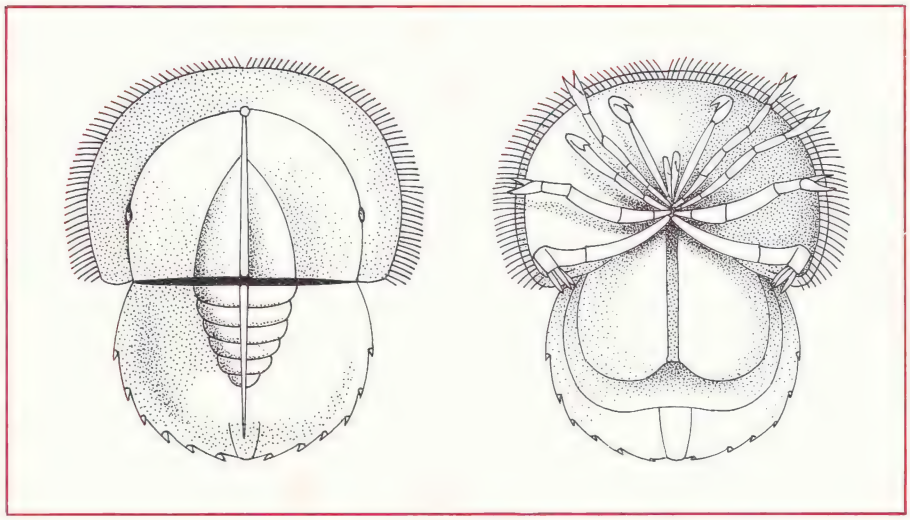
Wie die Skorpione lernten, Luft einzuatmen

Nachdem wir nun wissen, woher die Landskorpione kommen, drängt sich die Frage auf, wie es möglich war, daß diese Lebewesen, die bis dahin nur im Wasser gelebt hatten, lernen konnten, an Land zu existieren, d. h. also atmosphärische Luft zu „atmen".

Um dieses Rätsel zu lösen, müssen wir zuerst das Atmungssystem der Merostomata mit dem des heutigen Skorpions vergleichen. Wenn

Bauch eines ausgewachsenen Limulus (Pfeilschwanzkrebs); die Atmungsorgane sind deutlich zu erkennen.

der Pfeilschwanzkrebs auf den Rücken gelegt wird, sieht man an seinem Bauch zu blattförmigen Anhängen umgebildete Extremitäten. Diese tragen die Kiemen, durch die das eigentliche Atmen stattfindet; d. h., in ihnen wird Kohlendioxid aus dem Blut abgegeben und wasserlöslicher Sauerstoff aufgenommen. Auf eben diese Weise hat auch der große Pterygotus, der Vorfahr des Palaeophonus, geatmet. Der heutige Skorpion jedoch atmet anders. In seinem Bauch befinden sich kleine Säckchen, „Lungen" genannt, die mit der Außenwelt durch kleine



Die Larvenform des Limulus in Rücken- und Bauchansicht. In diesem Stadium ähnelt der Limulus einem Trilobiten. Dies deutet auf die alte Verbindung zwischen den Trilobiten und den Merostomaten hin.

Öffnungen verbunden sind und die beim Atmen benutzten Kiemenblättchen (Lamellae) enthalten. Untersuchungen an rezenten Skorpionembryonen haben jedoch zu Tage gebracht, daß sich bei der Embryonalentwicklung des Skorpions ebenfalls blattförmige Abdominalfüße mit den dazugehörenden Kiemenblättchen entwickeln, die sich dann allerdings wieder zurückbilden. Das bedeutet also, daß Skorpione, bevor sie zur Welt kommen, noch heute Merkmale der im Wasser lebenden Merostomata besitzen. Offensichtlich haben sich im Silur die Kiemenblättchen der Merostomata zu den Lungenblättchen der Skorpione umgebildet. Diese Entwicklung wurde wahrscheinlich dadurch begünstigt, daß die Merostomaten häufig aus dem Wasser gekrochen waren – ein Verhalten, das wir auch bei den heutigen im Meer lebenden Gliederfüßern feststellen können.

Eines der faszinierendsten Beispiele von Anpassung in dieser Hinsicht ist der *Birgus latro,* ein großer Einsiedlerkrebs im Südpazifik, der auch unter den Namen „Palmendieb" oder „Kokosnußräuber" bekannt ist. Nachdem er einen Teil seiner Jugend im Meer verbracht hat, wird dieser Krebs zum Landbewohner und gräbt sich sogar eine Höhle an völlig trockenen Stellen. Er klettert auch die Kokospalmen hinauf, um die Nüsse, die er besonders gern frißt, abzuschneiden und herunterzuschütteln. Doch auch der Birgus atmet durch Kiemen. Sie befinden sich allerdings in einem gut geschützten Hohlraum, so daß der Birgus die Luft direkt einatmen kann. Viele andere Krustentiere teilen diese Fähigkeit mit dem Birgus latro. Wer von uns hat nicht irgendwann an der Küste bei Ebbe Krebse gesehen, die an den feuchten Steinen nach Nahrung suchen. Es stört sie überhaupt nicht, daß sie sich so weit weg vom Wasser befinden.

Vorspiel zur Ankunft der Insekten

Dies also ist die Geschichte von der Eroberung des Festlandes durch den Skorpion. Am Anfang war offensichtlich Palaeophonus einer jener Merostomaten, deren Kiemenblättchen von einem ausgedehnten, gut entwickelten Panzer geschützt wurden, so daß sie für eine begrenzte Zeit an feuchten Plätzen auch außerhalb des Wassers existieren konnten.

Links: Der rote Krebs der Galapagosinseln verbringt den größten Teil seines Lebens außerhalb des Wassers; er kriecht auf den Felsen umher, auf der Suche nach Nahrung.

Vielleicht wurde diese besondere Fähigkeit dadurch gefördert, daß die Lagunen und Sümpfe, in denen diese Tiere lebten, durch ein Zurückweichen des Meeres periodisch trockengelegt wurden.

Die natürliche Auslese begünstigte die Skorpione mit den am besten geschützten Kiemen. Später entwickelten diese dann Kiemen, die durch schmale Öffnungen mit der Außenwelt verbunden waren. Ein weiterer Vorteil war, daß sie mit diesen besonders geschützten Kiemen etwas Feuchtigkeit in ihren Kiemensäcken festhalten konnten. Gegen Ende des Silurs müssen diese Kiemensäcke noch im Meer funktioniert haben; später büßten sie dann ihre diesbezügliche Fähigkeit vollständig ein. Damit wäre die Entwicklung von den Kiemenatmern zu den Lungenatmern geklärt.

Übrigens wird im gleichen Zusammenhang Licht auf eine andere noch unklare Geschichte geworfen – die Geschichte der *Tausendfüßer (Myriapoden).* Es wurden Versteinerungen von Myriapoden aus der unmittelbar auf das Silur folgenden Periode gefunden. Fast alles spricht dafür, daß Myriapoden bereits im oberen Silur gelebt haben. Die bekanntesten heutigen Tausendfüßer sind die räuberischen *Hundertfü-*

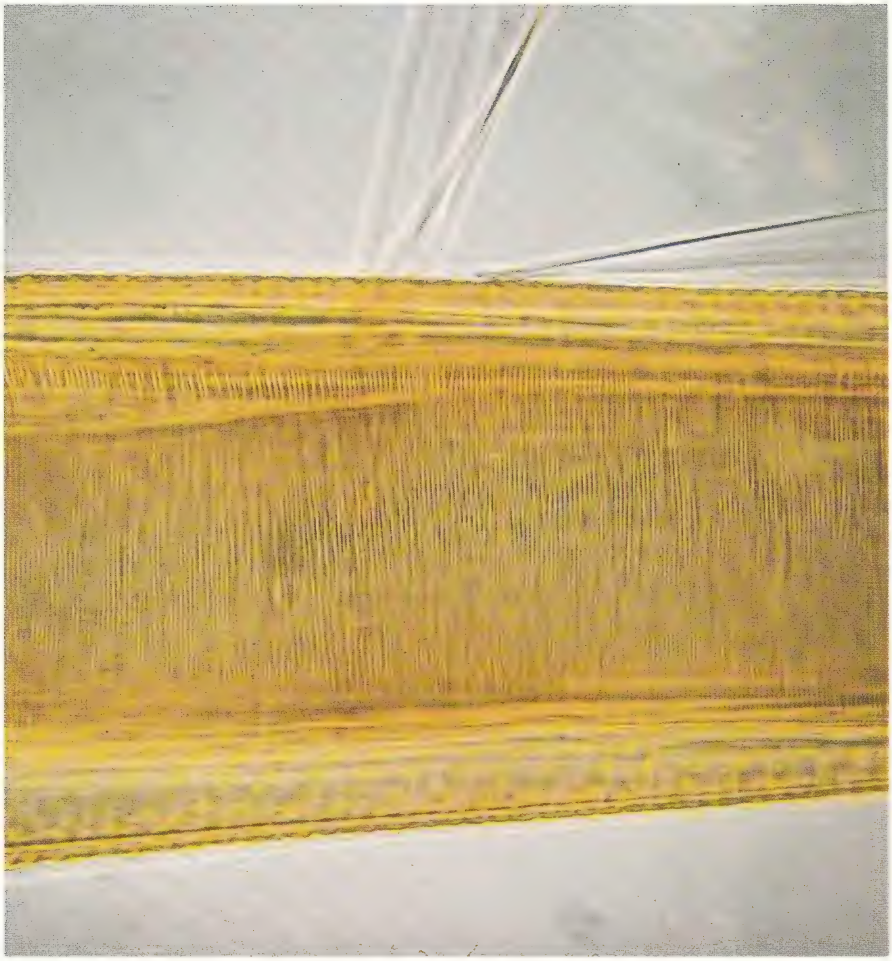
Linke Seite: Der Geisterkrebs (Ocypoda ceratophthalma), aufgenommen bei einem Spaziergang in der Sonne auf einem etwas feuchten Sandboden. Viele Krebse passen sich vorübergehend an die Lebensbedingungen außerhalb des Wassers an.

Ein zeitgenössischer Hundertfüßer. Es ist durchaus möglich, daß es ähnliche Lebewesen im späten Silur gab.

ßer (Chilopoden). Manche Wissenschaftler vermuten, daß im oberen Silur ähnliche Lebewesen mit den Skorpionen zusammen existiert haben, obgleich es aus dieser Zeit keine allgemein anerkannten Fossilienbeweise gibt. Jedenfalls sind die Myriapoden von großem Interesse, da sie sowohl mit den Krustentieren als auch mit den Insekten verwandt zu sein scheinen. Man kann sogar sagen, daß ihr Auftauchen die Herrschaft der Insekten, der dominanten Gliederfüßer, angekündigt hat.

Aber, wie schon gesagt, die Herkunft der Tausendfüßer ist bisher noch ungeklärt. Anders als bei den Skorpionen konnten auch Untersuchungen an Embryonen keine weitere Aufklärung bringen.

Myriapoden atmen durch dünne, röhrenartige Atmungsorgane, die *Tracheen* genannt werden. Diese sind mit Chitin, der Substanz, aus dem auch der Panzer gebildet wird, versteift und erstrecken sich durch den ganzen Körper. Sie stehen durch kleine Öffnungen mit der Außenwelt in Verbindung. Durch die Tracheen wird Sauerstoff über winzige Verzweigungen, die zu allen inneren Organen hinführen, transportiert. Tracheen jedoch sind die typischen Atmungsorgane der Insekten; durch sie wird deshalb die These von der Rolle der Urmyriapoden als Vorläufer der Insekten bekräftigt.



Detailansicht einer Insektentrachee (Moskitolarve), durch das Mikroskop gesehen. Auch der Hundertfüßer besitzt Tracheen.

Das erste Ökosystem auf dem Festland

Der Übergang der Gliederfüßer auf das Festland leitet einen höchst bedeutsamen Vorgang ein: das Auftauchen einer mächtigen und artenreichen Klasse – der Klasse der *Insekten.* Erinnern wir uns daran, daß die Insekten allein rund 75% aller existierenden bekannten Tierarten ausmachen! Hätten die Wirbeltiere nicht das Wasser verlassen, wären die Insekten die unbestrittenen Herrscher der ganzen Erde. Über die Entwicklung dieser Lebewesen werden wir später etwas erfahren.

Inzwischen wird uns das Wissen über die abenteuerliche Entwicklung der Gliederfüßer helfen, eines der frühesten, vom Wasser als Lebensraum unabhängigen Ökosysteme zu verstehen. Es müssen nämlich in der Tat gegen Ende des Silurs die ersten urzeitlichen *Konsumenten* bzw. Pflanzenfresser sich den Landraubtieren (Skorpionen) zugesellt haben; und diese ursprünglichen reinen Konsumenten waren entweder schon Myriapoden oder deren direkte Vorfahren. Dennoch hätten diese Ökosysteme ohne *Produzenten,* d. h. grüne Pflanzen, gar nicht existieren können. Die Pflanzen hatten ihrerseits, ähnlich wie die Gliederfüßer, ebenfalls den Übergang vom Wasser auf das feste Land vollzogen.

Lange bevor es den Palaeophonus gab, waren die Kontinente unseres Planeten ein endloses Ödland. Gebirgszüge fielen als kahle

Steinklippen zu wüsten Ebenen ab, in denen Flüsse den Schutt mitrissen und zu ungeheuren Bergen von Gesteinstrümmern auftürmten. Hier gab es keine Spur von Grün, und die Sonne brannte auf die grell gefärbten Felsen nieder. Der Regen trommelte auf die Gebirgsrücken herab, Sturzbäche ergossen sich in die Täler, und Winde heulten über den Ebenen; sonst jedoch herrschte Schweigen. Kein Lebewesen erhob seine Stimme. Und so blieb es über 3 Milliarden Jahre lang. Die andauernde Unstabilität der Kontinentalblöcke hatte seit dem frühesten Präkambrium ausgedehnte Gebirgssysteme aufgerichtet, die jeweils wieder abgetragen wurden. Dies hinterließ zwar Spuren in der späteren Welt der Lebewesen, weil es deren Umgebung formte, führte jedoch

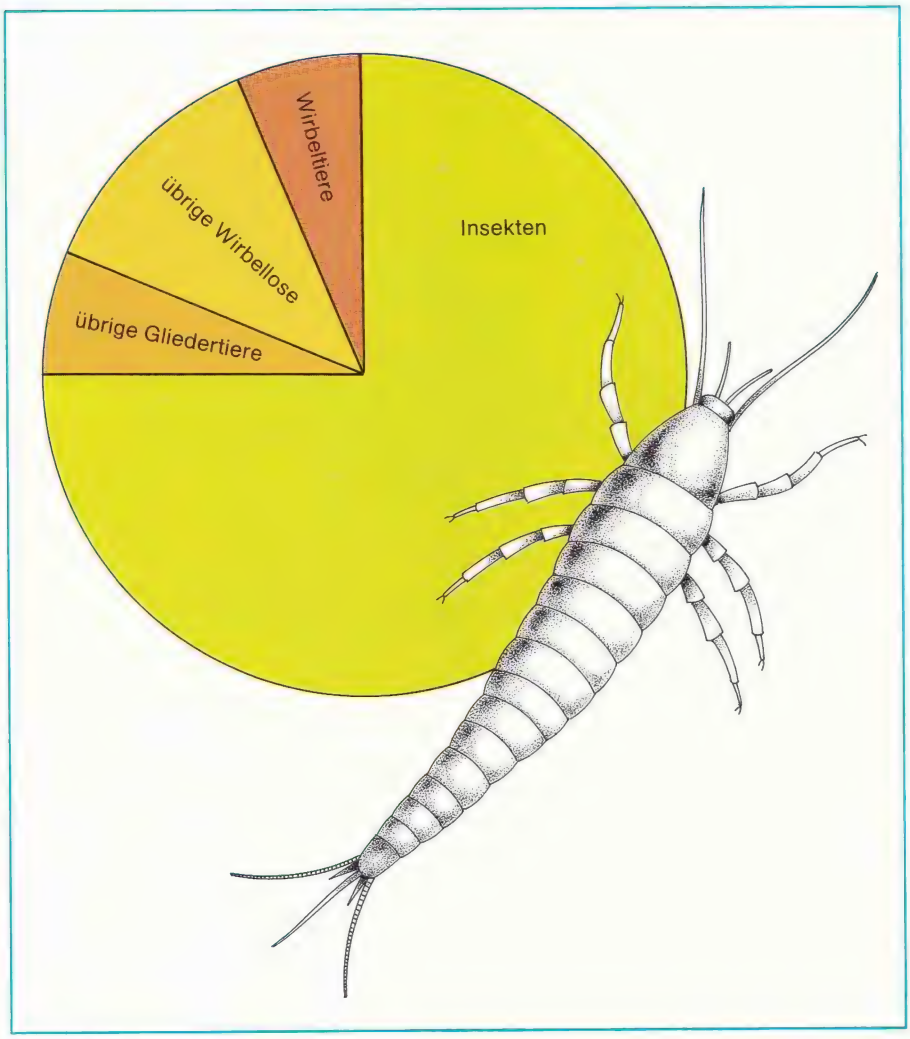
Bis zum Ende des Silurs waren die Kontinente der Erde endlose Wüstengegenden. Dieses Bild von der Landschaft um das Tote Meer gibt uns eine Vorstellung davon, wie es damals aussah.

niemals zu einer echten umwälzenden Veränderung. Diese geschah erst im Silur: Hier bildeten sich ausgedehnte Faltungen in weiten Bereichen des Globus, und tiefgreifende Veränderungen in der Verteilung des Wassers über die Oberfläche der Erde fanden statt. Das Ergebnis war eine Krise in der Lebenswelt der Algen, welche schließlich zur Eroberung des festen Landes durch die Pflanzen führte.

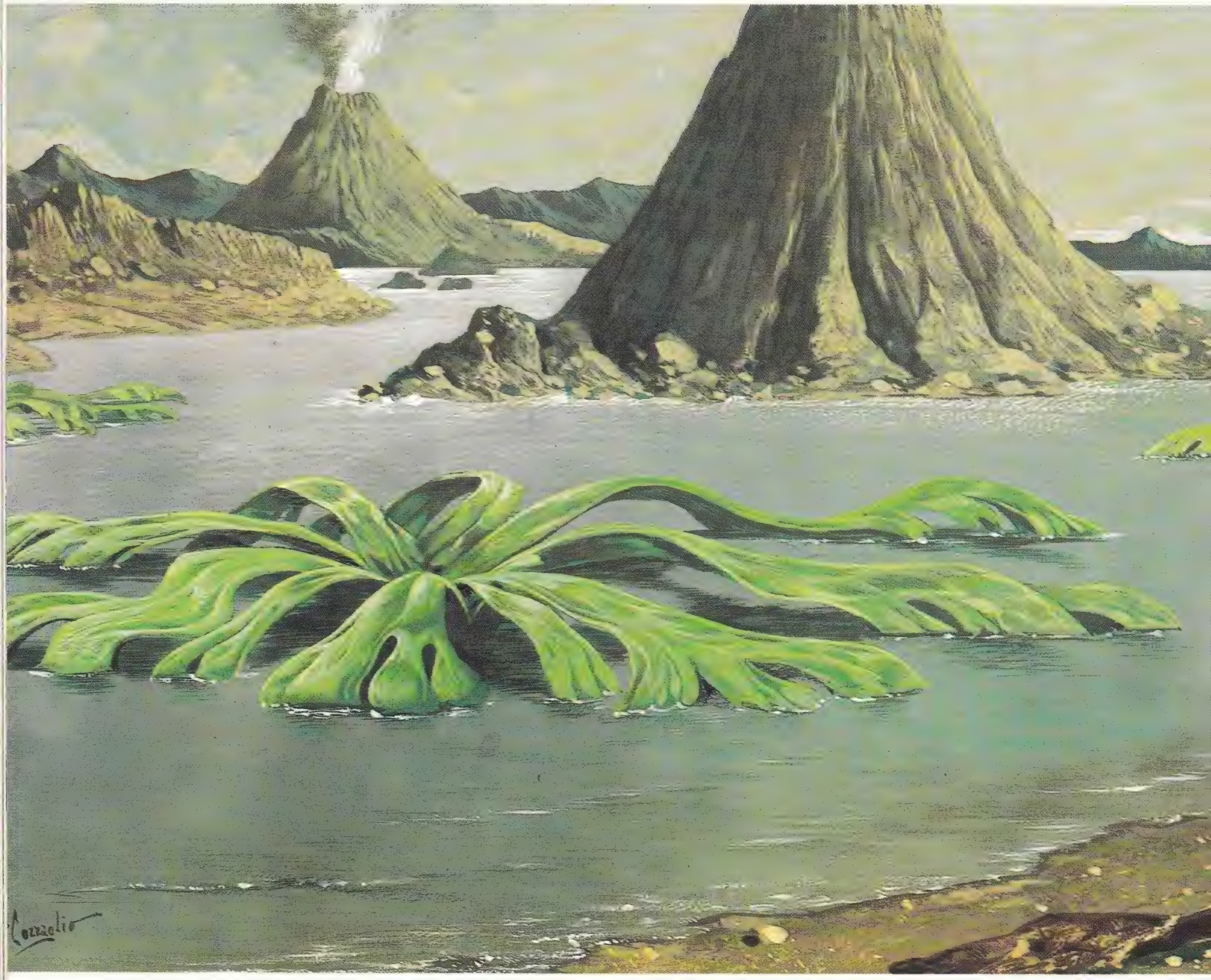
Die Eroberung des festen Landes durch die Algen im Silur

Wenn ein im Wasser lebender Organismus (Tier oder Pflanze) versucht, die Wasser-Luft-Grenze zu überschreiten, muß er zuvor ein gewichtiges Problem lösen: die Austrocknung des Organismus zu verhindern. Die Gliederfüßer haben dieses Problem, wie wir bereits wissen, dank eines gegliederten Panzers glänzend gelöst; der Palaeophonus z. B. wurde auch auf dem festen Land durch seinen Panzer geschützt, der ein Austrocknen des Körpers verhinderte.

Für die *Algen* war das Problem viel schwieriger. Sie waren mit Wasser durchtränkt und wurden durch das Wasser aufrechtgehalten; sie waren



In der heutigen Welt bilden Insekten 75% aller bekannten Tierarten (wie das Diagramm zeigt). Wären die Wirbeltiere nicht vom Wasser auf das feste Land übergesiedelt, würden die Insekten die Welt beherrschen.



gänzlich unfähig, in irgendeiner anderen Umgebung zu überleben. Trocknete ein kleiner See aus, wurden bald danach die zarten, grünen Gewächse, die auf dem Grund des Sees hin- und herwogten, in Matschklumpen verwandelt. An der Küste konnten die Algen, solange sie noch regelmäßig von der Flut überspült wurden, auch bei Ebbe in der Luft überleben. Die Hochwasserlinie allerdings stellte eine schier unüberwindliche Grenze dar. Denn die Pflanzen absorbierten ja durch ihre gesamte Oberfläche das für die Photosynthese erforderliche Kohlendioxid. Um jedoch an der Luft überleben zu können, mußten sie überall ständig feucht gehalten werden. Dies scheint ohne das die Verdunstung der „Körperflüssigkeit" verhindernde umgebende Wasser

unmöglich gewesen zu sein. Die silurischen Algen jedoch haben dieses Problem bewältigt.

In silurischen Schichtungen wurden Fragmente seltsamer Pflanzenformen gefunden, die einerseits noch Algen, andererseits aber bereits Landpflanzen darstellen. Organismen dieser Art werden *Nematophyten* genannt. Ihr Thallus besaß Zellen mit Zellwänden, die sie vor Feuchtigkeitsentzug schützten. Er wurde durch ein stengelähnliches Gebilde gestützt, das aus parallel laufenden und ineinander verflochtenen Gefäßen bestand. Diese Pflanzen lebten im Wasser oder auf sehr nassem Boden und überragten mit ihren oberen Teilen den Wasserspiegel. Sie nahmen ständig Flüssigkeit auf, die vom umgebenden Wasser in ihnen

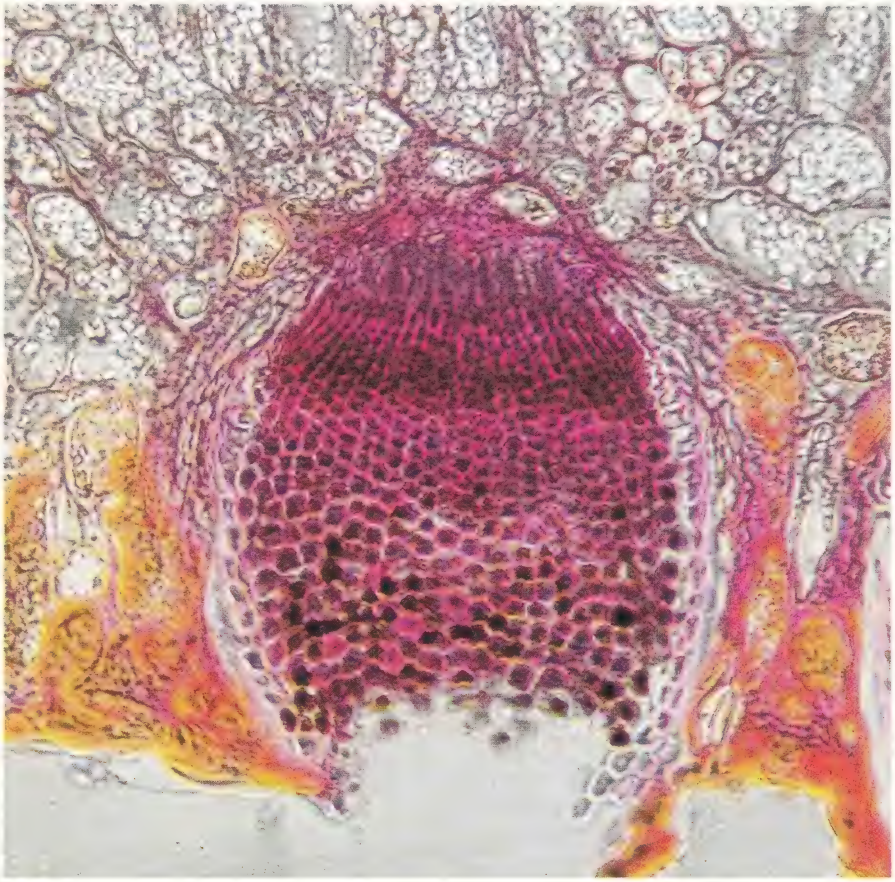
Im späten Silur waren die Algen dauernd der Luft ausgesetzt, obgleich sie weiterhin mit dem Wasser verbunden blieben. Auf diesem Bild sehen wir, wie etwa die Nematophyten ausgesehen haben müssen. Es waren Pflanzen, die im Wasser lebten, aber mit ihren oberen Teilen aus dem Wasser herausragten. Ihre Zweige konnten sich dann frei in der Luft entfalten. Sie besaßen bereits einen Stengel.

„hochgepumpt" wurde. Auf diese Weise konnten sie sich von ihrem ursprünglichen Lebenselement, dem Wasser, allmählich lösen und nach und nach das feste Land besiedeln. Hierfür gibt es zahlreiche Fossilienbeweise.

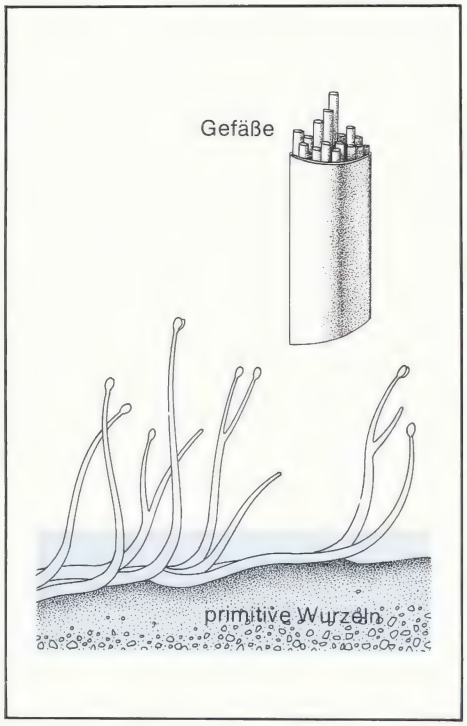
Landpflanzen und Nahrungsketten im Silur

Selbstverständlich dauerte es lange, bis durch natürliche Auslese diese Nematophyten entstanden. Während dieser langen Zeit wichen die Wassermassen allmählich zurück und hinterließen ungeheuer weite Gebiete festen Landes, das reich an organischen Stoffen war. Nachdem die Algen einmal das Problem des Feuchtbleibens bewältigt hatten, vollzog sich die Entwicklung der Pflanzen in neuen Dimensionen. Sie gediehen in erstaunlicher Vielfalt. Pflanzliches Leben entwickelte sich und gedieh zunächst in den Sümpfen, die das zurückweichende Meer hinterlassen hatte. Die ersten Arten besaßen noch keine Blätter oder Wurzeln. Sie bestanden ausschließlich aus aufrechten Stengeln, die von wasserbedeckten Sproßachsen ausgingen. Nach und nach bildeten sich am unteren Ende dieser Pflanzenkörper Haare, die die Vorläufer von Wurzeln waren, während die Stengel sich nach oben verzweigten und komplexer wurden.

Die Pflanzen, von denen hier die Rede ist, gehören zur ausgestorbenen Ordnung der *Psilophytales,* der Vorläufer der Farne und der höheren

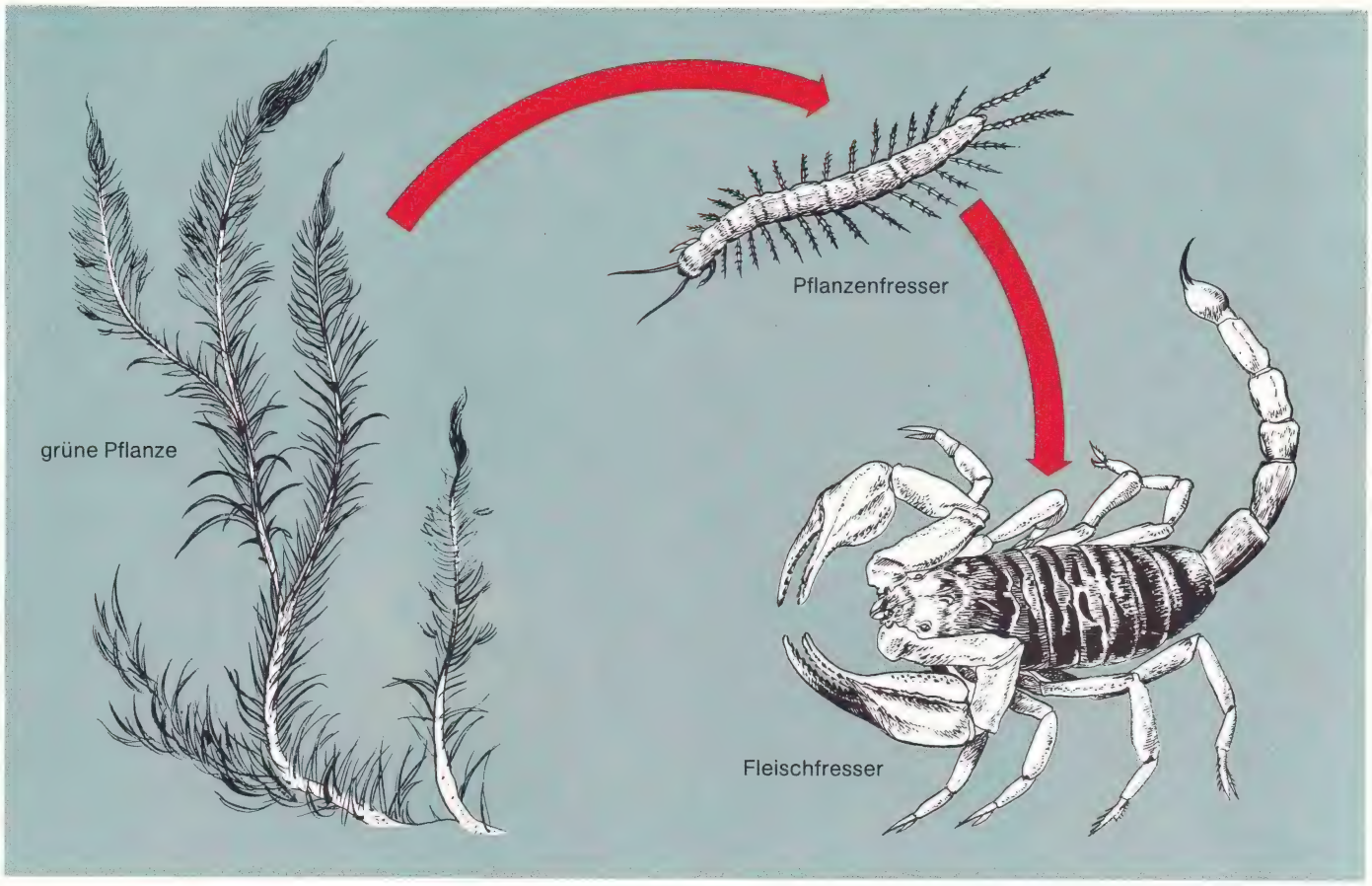


Mikroskopische Aufnahme eines Schmarotzerpilzes (Puccinia). Gezeigt wird eine große Zahl von Sporen bei der Reifung (die winzigen ovalen Körper innerhalb der sackförmigen Struktur des Pilzes). Fossile Sporen von Landpflanzen wurden in silurischen Schichtungen gefunden.



Oben: Während des Silurs erhoben manche Pflanzen ihre sporenkapseltragenden Stengel aus dem Wasser. Diese Stengel bestanden aus Gefäßbündeln (in der Abbildung oben) und waren noch sehr primitiv. Aus diesen Pflanzen entwickelten sich die Psilophyten.

Links: Baragwanathia longifolia, eine Landpflanze aus der Endphase des Silurs und den unmittelbar folgenden Perioden. Diese schöne Versteinerung wurde in Australien gefunden.

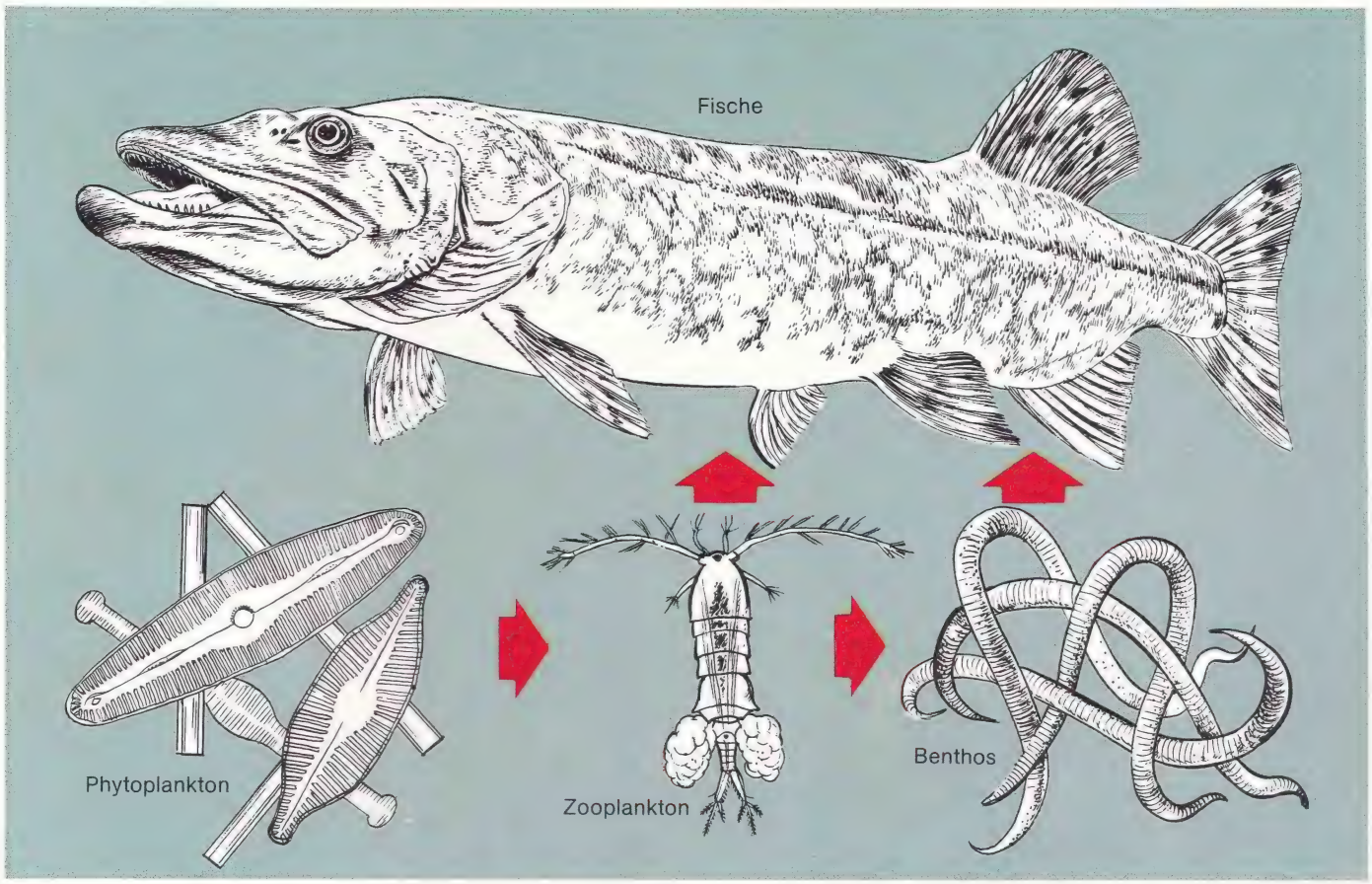


Beispiel einer möglichen Nahrungskette von Lebewesen auf dem festen Land im späten Silur. Die Kette setzt sich aus den folgenden Gliedern zusammen: grüne Pflanze (Produzent), Hundertfüßer (pflanzenfressender Verbraucher) und Skorpion (fleischfressender Verbraucher).

Pflanzen. An der Spitze ihrer Stengel befanden sich *Sporangien* oder Sporenbehälter, die die *Sporen* für die Fortpflanzung enthielten (Sporen von solchen Landpflanzen wurden verschiedentlich in silurischen Ablagerungen gefunden). Mit der Entwicklung der Psilophytales hatte die Evolution bereits einen großen Sprung nach vorn bewirkt; sie sollte jedoch noch im Silur weitere Fortschritte erzielen.

In den silurischen Erdschichten Australiens fand man eine Pflanze mit nadelförmigen Blättern, die bereits ganz und gar Landpflanze war. Sie wurde *Baragwanathia* genannt. Ihr unvermitteltes Auftreten im Silur ist mit dem Erscheinen von Astraspis im Ordovizium vergleichbar. Beide Organismen waren an ihre Umgebung bereits vollkommen angepaßt, und bei beiden kann man eine vielfältige Entwicklungsgeschichte rekonstruieren. Es gibt jedoch auch einen markanten Unterschied: Im Falle von Astraspis verfügen wir über keine Fossilienbeweise, während es davon für Baragwanathia mehrere gibt, die Licht in das Dunkel ihrer Geschichte zu bringen vermögen.

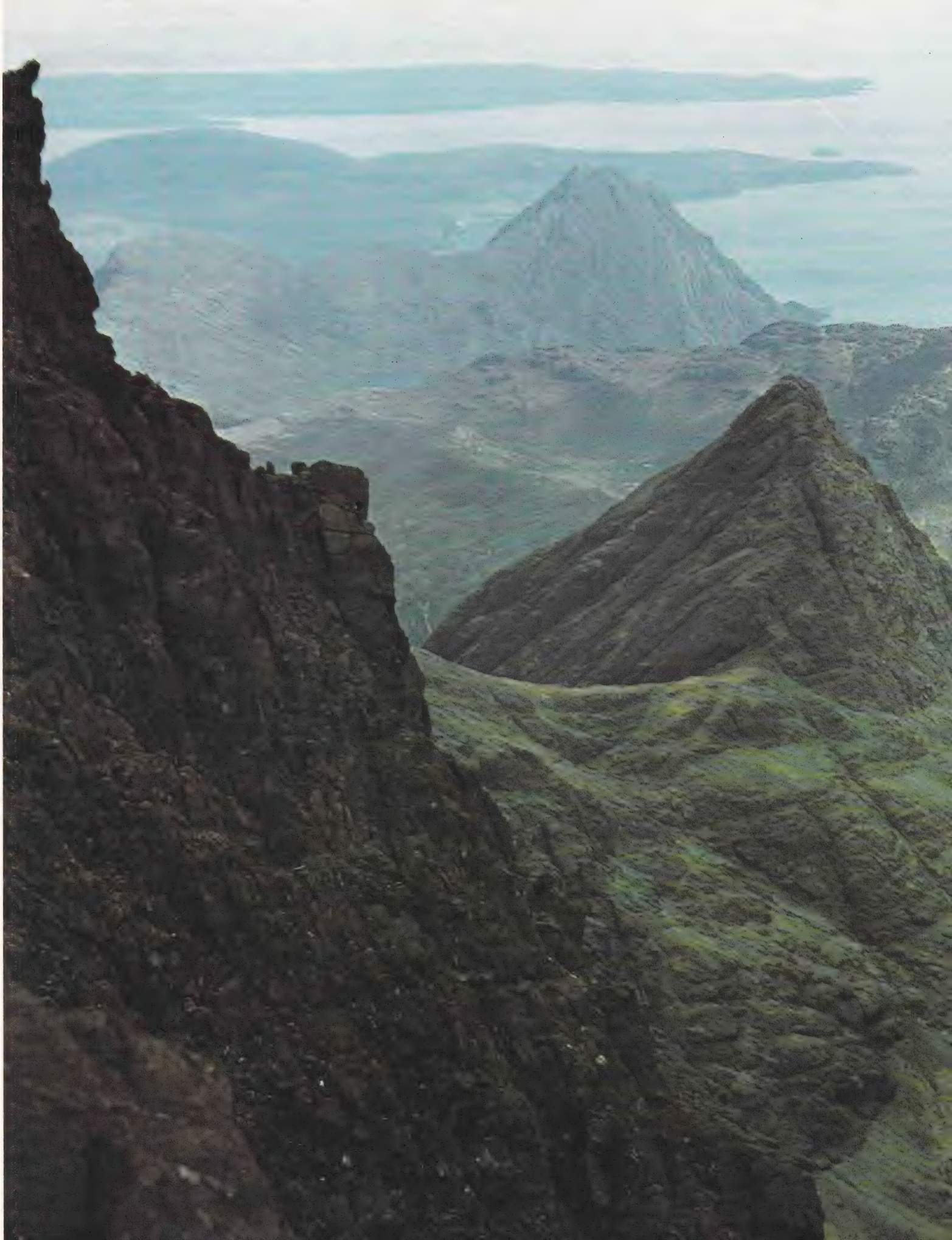
Wir können uns nunmehr eine vage Vorstellung von den Ökosystemen machen, die am Ende des Silurs auf dem festen Land zu finden waren. Die Kontinente waren zum großen Teil noch kahl und unbelebt; diejenigen Landstriche, die bereits vom Leben erobert waren, wirkten wie dürftige Entwürfe dessen, was erst noch entstehen sollte. Sicher ist nur, daß in manchen feuchten Gegenden grüne Pflanzen die Energie lieferten, von denen sich kleine Pflanzenfresser (wahrscheinlich Myria-



poden) ernährten, die ihrerseits die Energie bzw. die Nahrung für die sekundären Konsumenten, die Skorpione, darstellten. Zu diesen Organismen gesellten sich schließlich als Reduzenten u. a. kleine Gliederfüßer, Bakterien und Protozoen (Urtierchen). Diese Organismen bildeten also die ersten Nahrungsketten auf dem festen Land.

Die Nahrungsketten im Süßwasser waren zu jener Zeit schon sehr komplex; tatsächlich sind sie mit den heutigen Nahrungsketten in einer ähnlichen Umgebung vergleichbar. Greifen wir eine typische Nahrungskette in einem See heraus. Das unterste Glied bilden die einzelligen Algen. Danach kommen jene winzigen Krustentiere, von denen die bekanntesten die Daphnien oder Wasserflöhe sind, die wir in trockenem Zustand als Fischfutter verwenden. Diese winzigen Tiere werden von Fischen oder Würmern gefressen. Das vierte Glied dieser Kette könnten würmerfressende Fische darstellen. Auf fünf Glieder kommen wir schließlich, wenn wir größere Raubfische, die sich von kleineren Fischen ernähren, dazunehmen. Mikroskopisch kleine Algen und winzige Krustentiere existierten bereits zur Zeit von Pteraspis. Es war (schon wegen ihrer dazu ungeeigneten Mundstruktur) kaum möglich, daß die Agnathen sich gegenseitig auffraßen. Sie wurden jedoch ihrerseits die Beute der räuberischen Seeskorpione. Sie alle waren also Glieder einer Nahrungskette. Der einzige Unterschied zwischen damals und heute besteht darin, daß die silurischen Fische nur ein Zwischenglied in der Kette waren.

Typische Nahrungskette in der Umgebung eines Sees heute. Das unterste Glied bilden die Algen, welche Sonnenenergie speichern (Produzenten). Diese werden dann von kleinen Krustentieren (primäre Verbraucher) gefressen, die ihrerseits von Fischen und Würmern auf dem Boden des Sees (sekundäre Verbraucher) verzehrt werden. Die Kette besteht aus drei klar erkennbaren Gliedern, womöglich vier – wenn man bedenkt, daß die Würmer von den Fischen gefressen werden. Nahrungsketten dieser Art existierten schon im Silur, wenn auch natürlich mit ganz anderen Algen und Tieren.



Im Devon: Das Leben in den Meeren und die Ausbreitung der Gliederfüßer

Wüsten und Sümpfe

In den Gebirgen Schottlands, zwischen Wäldern und Seen, ragt eine Gruppe von Felsen über Schichtungen empor, die aus dem Silur stammen oder sogar noch älter sind. Diese Felsen, *Oldred* genannt, bestehen sowohl aus dem typischen roten Sandstein als auch aus Kies- und Tonschichtungen. Die letzeren bergen Versteinerungen riesiger Seeskorpione und einiger seltsamer Fische. Die Fischfossilien dokumentieren ein Ereignis, das eine radikale Umorganisation der Welt der Lebewesen und sogar der Erde selbst bewirkte: die Übersiedlung der Wirbeltiere vom Wasser auf das feste Land.

Die Formationen des Oldred dehnen sich, zusammen mit den darin erhaltenen Fossilien, auch weiter nach Süden aus, bis nach England und Irland. Sie finden sich ebenfalls in Norwegen und in Amerika nahe den atlantischen Küsten. Dies bedeutet, daß es in den Perioden nach dem Silur in weiten Bereichen der nördlichen Erdhalbkugel einheitliche Bedingungen gegeben hat – Bedingungen, die die unter ihnen existierenden Lebewesen immer wieder in äußerst kritische Situationen brachten. Untersuchungen des Oldred haben ergeben, daß die Sandablagerungen in den halbtrockenen Gebieten eines Kontinents auf periodische heftige Regenzeiten zurückzuführen sind. In jenen sonnenverbrannten Ebenen bildeten sich vorübergehend Seen und Sümpfe, an deren Ufern Psilophyten (Nacktfarne) und andere Urpflanzen wuchsen. Diese nur zeitweilig existierenden Gewässer waren von Fischen bevölkert – jenen Fischen, die die Vorläufer der auf dem Land lebenden Wirbeltiere waren.

Berglandschaft in Nordschottland. Diese Berge bestehen aus rotem Sandstein, der sich im Devon in den trockenen Gebieten eines alten nördlichen Kontinents, des Oldreds, abgelagert hatte.

Das Devon und seine Korallenriffe

Geologen nennen den Zeitabschnitt, in dem Oldred sich bildete, das Devon. Es folgte auf das Silur und dauerte rund 50 Millionen Jahre. Seine Anfänge liegen 395 Millionen Jahre zurück, und es endete vor 345 Millionen Jahren. Am Ende des Silurs und zum Beginn des Devons fanden gewaltige Umbildungen der Erdkruste statt. Es bildeten sich neue Gebirgszüge, und das Land hob sich immer mehr aus dem Wasser heraus. Algen und im Wasser lebende Gliederfüßer siedelten nach und

Rekonstruktion eines Korallenriffs vom Ende des Silurs und vom Anfang des Devons. Zusammen mit anderen Korallenarten „blühten" auch die Krinoiden. In dieser wunderschönen Umgebung lebten auch verschiedene Arten von Nautiloideen und Trilobiten.

Vollständig erhaltenes Fossil einer Korallenkolonie im Devon. Die Abbildung ist leicht vergrößert.

nach auf das feste Land über und wurden allmählich zu ausgesprochenen Landbewohnern.

Durch die Erhebung weiter Teile der Erde veränderte sich allmählich das Klima: Aus einem maritimen Klima wurde mit der Zeit in weiten Bereichen ein kontinentales Klima. Die Wüsten des Oldred entstanden und mit ihnen die halbtrockenen Gebiete, in denen der Kampf ums Überleben jene uns hier beschäftigende außerordentliche Evolution in den verschiedenen Organismen auslöste.

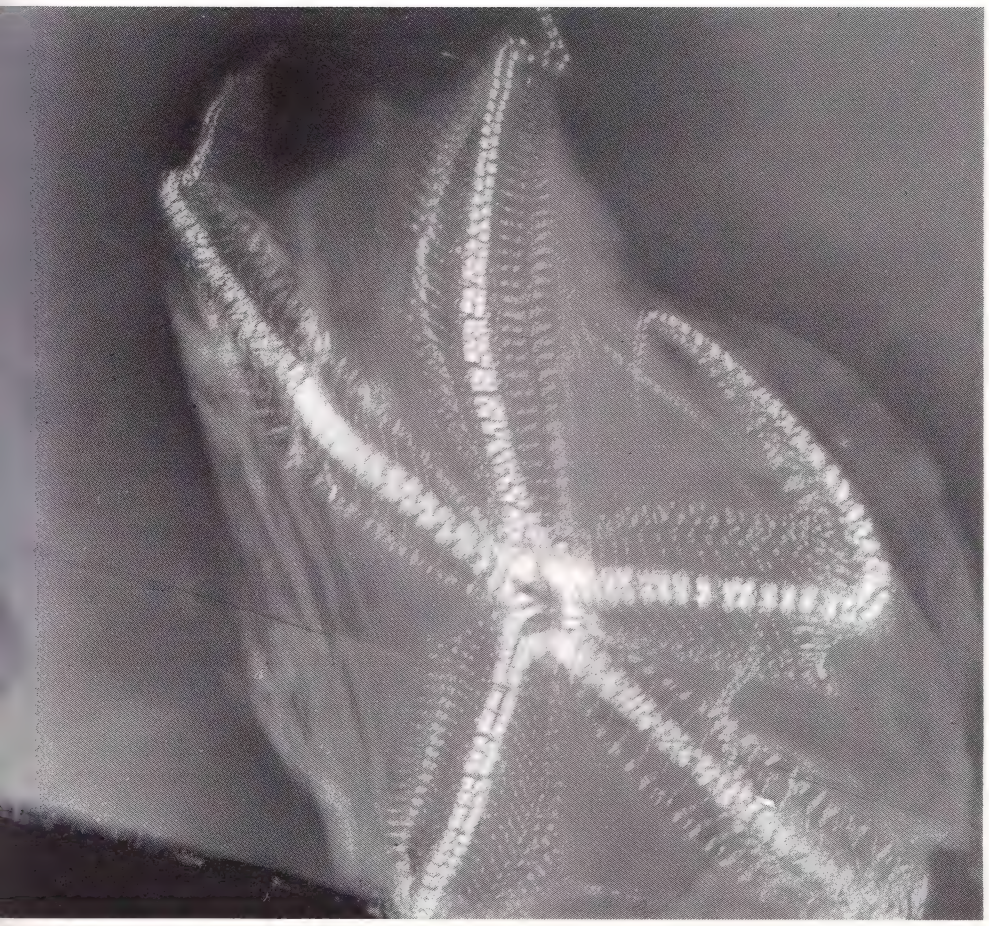
Anders als in den Wüsten und sandigen Ebenen mit ihren nur zeitweilig bestehenden Sümpfen erstreckte sich südlich des Oldreds ein kaum bewegtes Meer. Hier bauten die *Korallen,* zusammen mit den kalkhaltigen Algen, ihre Kolonien, genau wie im Silur. Einzelne Korallen, oft von riesigen Dimensionen, verbanden sich und bildeten gewaltige *Korallenriffe.*

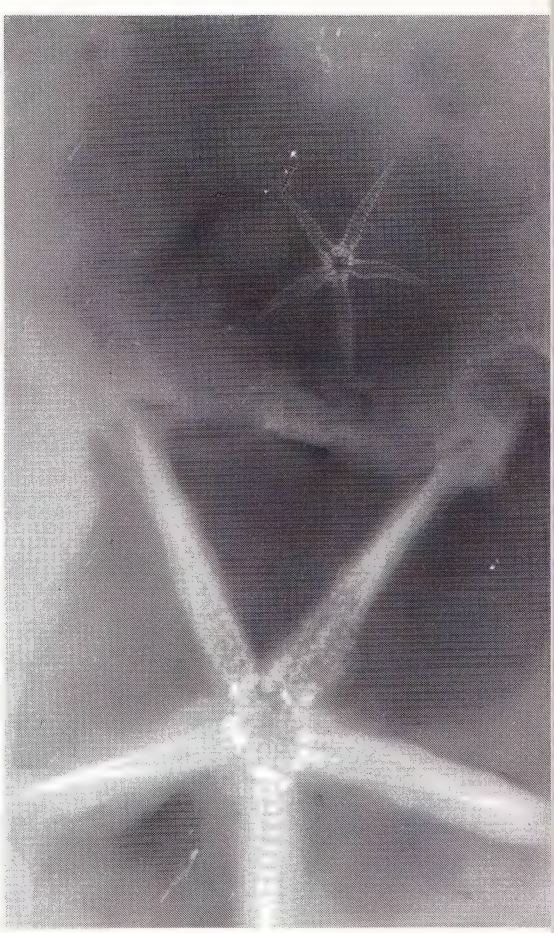
Bereits nach dem Ordovizium hatte es einige wichtige Veränderungen in der Verteilung des Landes gegeben. Das allgemeine Grundgerüst der Erde jedoch hatte sich nicht geändert. Es gab immer noch einen riesigen südlichen Kontinent und ein Meer, das ihn von den Ländern im Norden trennte. Durch neuerliche, wenn auch geringfügige Polbewegungen (der Südpol verlagert sich vom heutigen Äquatorgebiet nach Südafrika) gelangte der Oldred mit seinem südlichen Meer in einen wärmeren Klimabereich, was durch Fossilienfunde erhärtet wird. Trotz dieser scheinbar günstigen Bedingungen erlebte ein Großteil der Korallentiere nicht das Ende des Devons, weil in der Schlußphase die Riffgemeinschaften, in denen Algen, Korallentiere, Stachelhäuter und Weichtiere üppig gediehen, vorübergehend wie vom Antlitz der Erde weggefegt wurden. Eine große Zahl von Organismen, die im seichten Meer lebten, wurden Opfer einer weitreichenden ökologischen Katastrophe. Die Ursache dieser Katastrophe ist noch nicht zufriedenstellend geklärt. Man vermutet, daß bedeutsame klimatische Veränderungen dafür verantwortlich waren: Ein Großteil unseres Planeten wurde immer stärker von kontinentalen Wetterbedingungen bestimmt.

Das Leben in den devonischen Meeren

Bereits zu Beginn des Devons war eine andere Organismengruppe von einer furchtbaren Katastrophe heimgesucht worden. Wir meinen die *Graptolithen* aus der Gruppe der *Hemichordaten,* die in Kolonien lebten und viel weiter entwickelt waren als die Korallentiere. Am Ende des Silurs waren sie fast alle ausgestorben, außer einigen Arten, die gewöhnlich fest am Meeresboden verankert lebten. Der Grund für ihr Verschwinden lag vermutlich in den gewaltigen Umbildungen der Erdkruste gegen Ende des Silurs. Durch diese Umbildungen wurden die Algen praktisch gezwungen, auf das feste Land zu übersiedeln, und dabei wurden die zarten Graptolithen, die mit den Algen in einer idealen Lebensgemeinschaft koexistierten, vernichtet.

Überhaupt gab es für viele Tierarten im Devon zahlreiche wichtige Veränderungen. Die *Stachelhäuter (Echinodermen)* verloren die Vertreter von zweien ihrer ältesten Klassen; als Ausgleich entwickelten sich einige sehr schöne *Seesterne* und auch neue Arten von *Krinoiden.* Die prachtvollen Formen dieser Lebewesen wurden in Deutschland, in einer bestimmten Art von schwarzem Lehm aus dem Devon, vollständig erhalten gefunden. Ihre Struktur ist auf dem uralten Gestein klar zu erkennen. Von Scheiben, die man aus dem schwarzen Lehm heraus-





Röntgenaufnahmen von schwarzem Lehm aus Schichtungen des unteren Devons in Deutschland. Diese Aufnahmen zeigen sehr deutlich einen großen Schlangenstern, dazu rechts zwei Seesterne verschiedener Art und Größe.

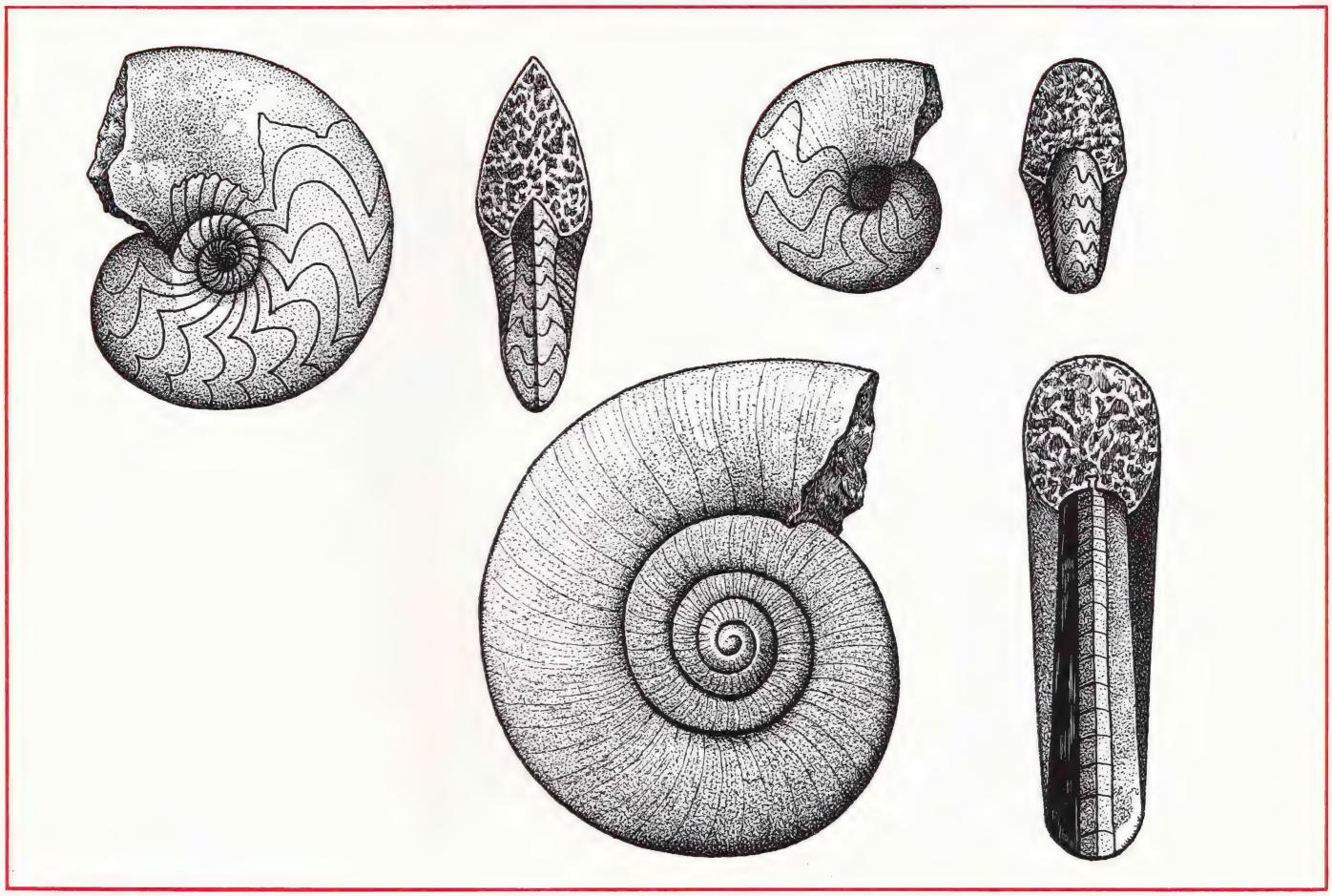
schnitt, fertigte man Röntgenbilder an, auf denen die Umrisse der Seesterne und Krinoiden deutlich erkennbar waren: Die einen hatten „Arme", die sich mit dem Wasser zu bewegen schienen, die anderen federartige Quasten, die in ihren wellenförmigen Bewegungen festgehalten sind.

Mit den Trilobiten ging es im Devon weiterhin bergab. Ihr Todeskampf, der schon vor etlichen Millionen Jahren begonnen hatte, schritt (wenn auch kaum merklich) unaufhaltsam fort, auch wenn es noch weitere hundert Millionen Jahre dauern sollte, bis sie endgültig ausstarben. Aber trotz ihres Abstiegs tauchten auch im Devon immer noch neue Trilobitenarten und -formen auf, darunter große Exemplare wie *Teratas-pis grandis,* 60 cm lang, mit chitinigen Stacheln versehen, die auf dem Meeresboden umherkrochen.

Die *Blattfußkrebse* (Branchiopoden), die bereits im Paläozoikum stark vertreten gewesen waren, entwickelten sich auch weiterhin beträchtlich. Günstige Bedingungen fanden auch *Muscheln* vor. Manche von ihnen entwickelten Formen von einer bis zu diesem Zeitpunkt unbekannten Größe. Sogar die *Nautiloideen* zeigten ganz neue und oft wunderschöne Formen, wenn auch nicht mehr so häufig wie im Silur; denn ihre Blütezeit neigte sich dem Ende zu. Andere, besser entwickelte und anpassungsfähigere Organismen, die Ammoniten, waren im Begriff, das Zepter von den übrigen Zephalopoden zu übernehmen.

Oben: Eine Gruppe seltsam geformter devonischer Trilobiten der Art Ceratarges armatus. Trotz ihrer Hörner und Stacheln waren diese Lebewesen sehr klein; sie hatten nur eine Länge von 2,5 cm.

Rechts: Ein besonders schönes Exemplar eines Seesterns, der im schwarzen Lehm aus dem unteren Devon gefunden wurde.



Die Ammoniten

Die *Ammoniten* waren eine Seitenlinie der uralten Nautiloideen und erschienen zuerst im Silur. Später verbreiteten sie sich in den Meeren des Devons und brachten in den darauffolgenden Perioden eine außerordentlich große Zahl von Formen und Arten hervor. Sie überstanden ökologische Katastrophen und lebten insgesamt ungefähr 350 Millionen Jahre lang auf der Erde. In den Ablagerungen und Gesteinsschichten, die die Geschichte unseres Planeten enthalten, bilden ihre Schalen zeitweilig gewaltige Berge. Ihre meist spiralförmigen Gehäuse erinnern an die Hörner eines Widders, was ihnen ihren griechischen Namen eintrug, der auf den mit Widderhörnern dargestellten ägyptischen Gott Ammon zurückgeht.

Heute gibt es von den Ammoniten überhaupt keine lebenden Vertreter mehr. Es wurden auch noch keine Fossilienabdrücke ihrer Weichteile gefunden. Wenn es nicht einen lebenden Nautiloideenvertreter gäbe, der den Wissenschaftlern reichlich Informationen über die Urzephalopoden mit Schalen lieferte, so daß eine Rekonstruktion möglich wurde, wüßten wir vom Aufbau der Ammonitenweichteile überhaupt nichts. Der Organismus, den wir meinen, ist der *Nautilus* – ein echtes „Souvenir" aus jenen uralten Zeiten, in denen die Zephalopoden mit ihren geraden, gekurvten oder spiralförmigen Schalen sich in fest gefügten Verbänden durch die Meere bewegten.

Schalen von drei Urammoniten des mittleren Devons; Seitendarstellung und Querschnitt. Links: Manticoceras intumescens; rechts: Tornoceras simplex; unten: Oxyclymenia undulata.

Ammonitenfossilien aus dem Devon. Links: zwei Exemplare von Bactrites gracilis, immer noch von Gestein umschlossen. Rechts: leere Schale eines Goniatiten.

Genau wie bei den Nautiloideen rekonstruierte man die Ammoniten an Hand des Nautilus, indem man die Gegebenheiten seiner Körperstruktur mit denen der Fossilienschalen verband. Das Ergebnis ist ein sehr brauchbares Bild von jenen Lebewesen, die mit ihren zahlreichen Fangarmen die Urgewässer durchstreiften, immer bereit, eine vorbeiziehende Beute zu ergreifen. Sie lebten in Schwärmen sowohl in Küstengewässern als auch im offenen Meer. Ihre Schalen bestanden aus glänzendem Perlmutt; sie schimmerten (wie die des Nautilus) in warmen Farbtönen (braun und orange), die manchmal noch an den Fossilien sichtbar sind.

Ähnlich wie bei den Nautiloideen waren auch die Ammonitenschalen innen in eine Reihe von Kammern untergliedert, die durch Scheidewände voneinander getrennt waren. Die Kammern wurden zunehmend größer, von der Embryonalkammer bis hin zur letzten und größten, sich nach außen öffnenden Kammer, in der das Tier hauste. In den meisten Fossilien ist die innere Struktur dieser Schalen ziemlich gut erhalten, und man kann die Form der Zwischenwände als Linien auf den Schalen erkennen: Diese sind entweder wellenförmig, oder sie sind durch Riffelung manchmal blumen- oder blattartig ausgestaltet. Diese feiner ausgearbeiteten Zwischenwände bilden das Hauptunterscheidungsmerkmal zwischen Nautiloideen und Ammoniten.

Im unteren Devon hatte sich diese Tiergruppe noch nicht sehr weit entwickelt, so daß die Linien der Zwischenwände noch unkompliziert

waren. Zu jener Zeit gab es sogar kegelförmige Ammoniten, die den primitiveren Nautiloideen des Ordoviziums ähnelten. Aber im mittleren Devon herrschten die eleganten, spiralförmigen Schalen (u.a. Tornoceras, Manticoceras) vor.

Die Ammoniten begannen also, wie bereits oben angedeutet, sich gegenüber den Nautiloideen durchzusetzen. Sie übernahmen deren ökologische Nische, d.h. deren Umgebung und deren Nahrungsquellen. Da sie ebenfalls Raubtiere waren und ähnlich organisiert waren wie die Nautiloideen, entstand eine Art Überlebenskampf zwischen den beiden Gruppen, dessen Auswirkung sich in den auf das Devon folgenden Erdperioden zeigte.

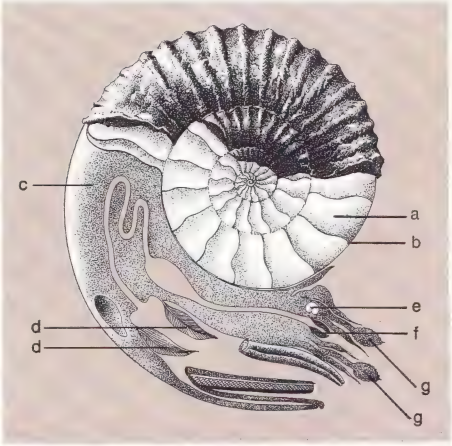
Die neuen Landgliederfüßer

Wir haben uns bemüht, in diesem Buch drei Parallelgeschichten zu entwickeln. Es sind die drei wichtigsten Geschichten aus der Welt der Lebewesen im Silur und im Devon: die Geschichte der Fische, die der Gliederfüßer, die sich auf dem festen Land durchzusetzen versuchten, und die der Algen, die das Wasser verließen und zu Landpflanzen wurden. Die Entwicklung des Lebens auf der Erde ist bunt und vielfältig und manchmal stürmisch. Sie bildet den gewaltigen Hintergrund, vor dem diese drei getrennten Bereiche in atemberaubenden zeitlichen Sprüngen zusammentreffen. Versuchen wir nun, die früher gesponnenen Fäden wieder aufzugreifen, und wenden wir uns den Gliederfüßern zu.

Aus devonischen Schichtungen sind uns zahlreiche Fossilien von verschiedenen Arten von Spinnentieren, Myriapoden und Insekten erhalten. Daß diese drei Hauptgruppen der auf dem Land lebenden Gliederfüßer darin vertreten waren, bedeutet, daß die im Wasser lebenden Gliederfüßer den Übergang auf das Land erfolgreich vollzogen hatten. Die ersten Skorpione im Baltikum, in Schottland und in Nordamerika hatten einen aussichtsreichen Weg gebahnt. Ihnen folgten, dank einem Evolutionsprozeß, der sehr schnell Fortschritte gemacht haben muß, andere neue Lebewesen.

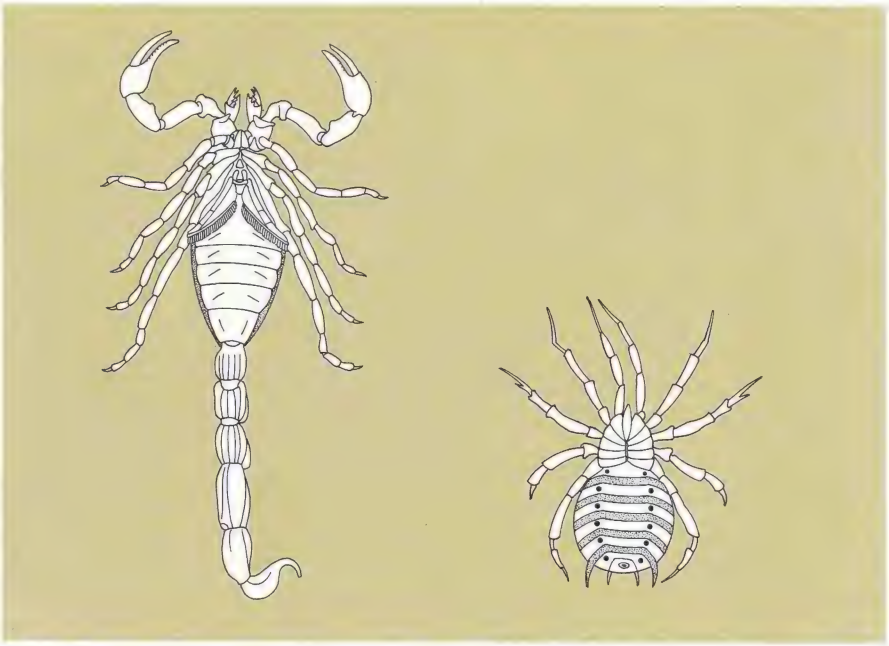
Daß es im unteren Devon bereits *Spinnen* und *Milben* gegeben hat, wissen wir aus schottischen Fossilfunden. Die Details ihrer weiteren Entwicklung sind uns jedoch noch ziemlich unbekannt. Es gibt jedoch mehrere Tatsachen, welche die unmittelbare Verwandtschaft zwischen Spinnen und Skorpionen geradezu unterstreichen. Unter anderem wissen wir, daß der Embryo der heute lebenden Spinnen einen segmentierten Körper und einen verlängerten, segmentierten Hinterleib aufweist. Auch der Skorpion besitzt einen segmentierten Körper mit verlängertem Hinterleib. Die Spinne im Paläozoikum behielt ihren segmentierten Hinterleib ihr Leben lang. Obwohl es uns noch nicht möglich ist, einen genealogischen Stammbaum der Spinnentiere zu rekonstruieren, können wir jetzt sagen, daß die Vorfahren des im vorigen Kapitel besprochenen Palaeophonus auch die Vorfahren der Spinnen und Milben sind.

Im Devon waren die *Myriapoden (Tausendfüßer)* durch Lebewesen vertreten, die schon in vieler Hinsicht dem heutigen Hundertfüßer ähnlich waren. Diese Organismen haben wir bereits im vorigen Kapitel kennengelernt und wissen daher, wie wichtig sie in der Evolution der höher entwickelten, auf dem Land lebenden Gliederfüßer waren. Die Urhundertfüßer des Devons hatten ähnliche Merkmale wie die frühesten



Rekonstruktion des inneren Aufbaus eines Ammoniten. Die Darstellung zeigt die Schale, teils mit, teils ohne Außenhülle, damit die Einteilung in Kammern sichtbar wird. – a Schalenkammer; b unterteilende Querwände; c die große Außenkammer, in der das Lebewesen wohnte; d Kiemen; e Auge; f Kiefer; g Fangarme.

Oben: Ein rezenter Springschwanz (Kollembole), vergrößert. Die Springschwänze sind Insekten von primitver Art, die bereits im Devon existierten.



Rechts: Vergleich zwischen einem heutigen Skorpion und einer Spinne des Paläozoikums (Eophrynus) aus der Zeit unmittelbar nach dem Devon. Beide Tiere werden hier von der Bauchseite gezeigt. Beide sind durch Untergliederung des Hinterleibs und durch Öffnungen in den Atmungsorganen charakterisiert (bei dem Skorpion in Form von schrägen Schlitzen, bei der Spinne in Form von Löchern).

Bild einer zeitgenössischen Milbe (Thrombicula autumnalis). Kleine Spinnentiere dieser Art gab es schon im Devon.

primitiven Insekten des Silurs, so daß man annehmen kann, daß beide Gruppen aus einer gemeinsamen Wurzel hervorgegangen sind.

Die ersten urtümlichen Insekten müssen etwa ähnlich ausgesehen haben wie die heutigen flügellosen *Kollembolen* oder *Springschwänze:* winzige, unbedeutende Insekten (selten länger als 5 mm), die in sehr großer Anzahl in feuchtem, humusreichem Boden leben. Sie kommen fast überall vor, sowohl auf der Oberfläche von stehenden Gewässern als auch an den Meeresküsten und im Hochgebirge. Einer ihrer Vertreter war *Rhyniella praecursor,* ein Insekt aus dem mittleren Devon, das in Schottland gefunden wurde.

Es gibt eine weitere Insektenordnung in unserer heutigen Welt, die mit den Kollembolen verwandt ist, die *Dipluren (Doppelschwänze).* Auch sie zeigen eine erstaunliche Ähnlichkeit mit gewissen Myriapoden. Dies spricht für eine urtümliche Verbindung zwischen Myriapoden, Dipluren und Kollembolen und folglich auch für die Abstammung der Insekten von den Myriapoden. Allerdings überzeugt dieses Argument manche Wissenschaftler nicht völlig; sie glauben, daß die Insekten sich über einen langwierigen Evolutionsprozeß aus einer Gruppe von Meeresanneliden (Würmern) herleiten. Wir halten diese Hypothese für wenig wahrscheinlich.

Zeitgenössischer Annelide (Ringel- oder Gliederwurm). Nach Meinung einiger Wissenschaftler sind die Insekten Abkömmlinge der Anneliden.

Die Pflanzenwelt des Devons

Die Blütezeit der niederen Pflanzen

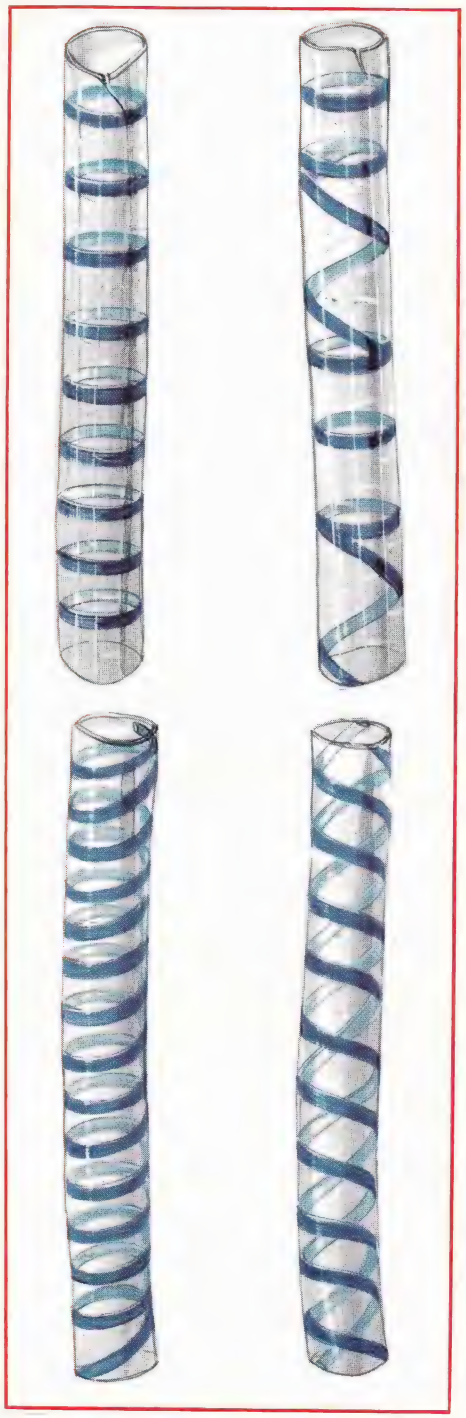
Im Jahre 1859 entdeckte der amerikanische Geologe Dawson an den Küsten der ostkanadischen Halbinsel Gaspé Peninsula, eines dicht bewaldeten Gebiets in der Flußmündung des großen Sankt-Lorenz-Stroms, einige Pflanzenfossilien, die besondere Aufmerksamkeit erregten. Es handelte sich um riesige Baumstämme mit einem Durchmesser von mehr als einem Meter. Obwohl sie ziemlich schlecht erhalten waren, schienen sie ihm einem heutigen Nadelbaum, der Eibe, ähnlich zu sein. Die Eibe ist ein bekannter immergrüner, bis über tausend Jahre alt werdender Zierbaum mit ausladender Krone. Dawson nannte diese Fossilien *Prototaxites.* Die Fossilien stammten aus Gesteinsformationen des Devons, d. h. aus einer Zeit, in der Nadelbäume eigentlich noch nicht existiert haben konnten.

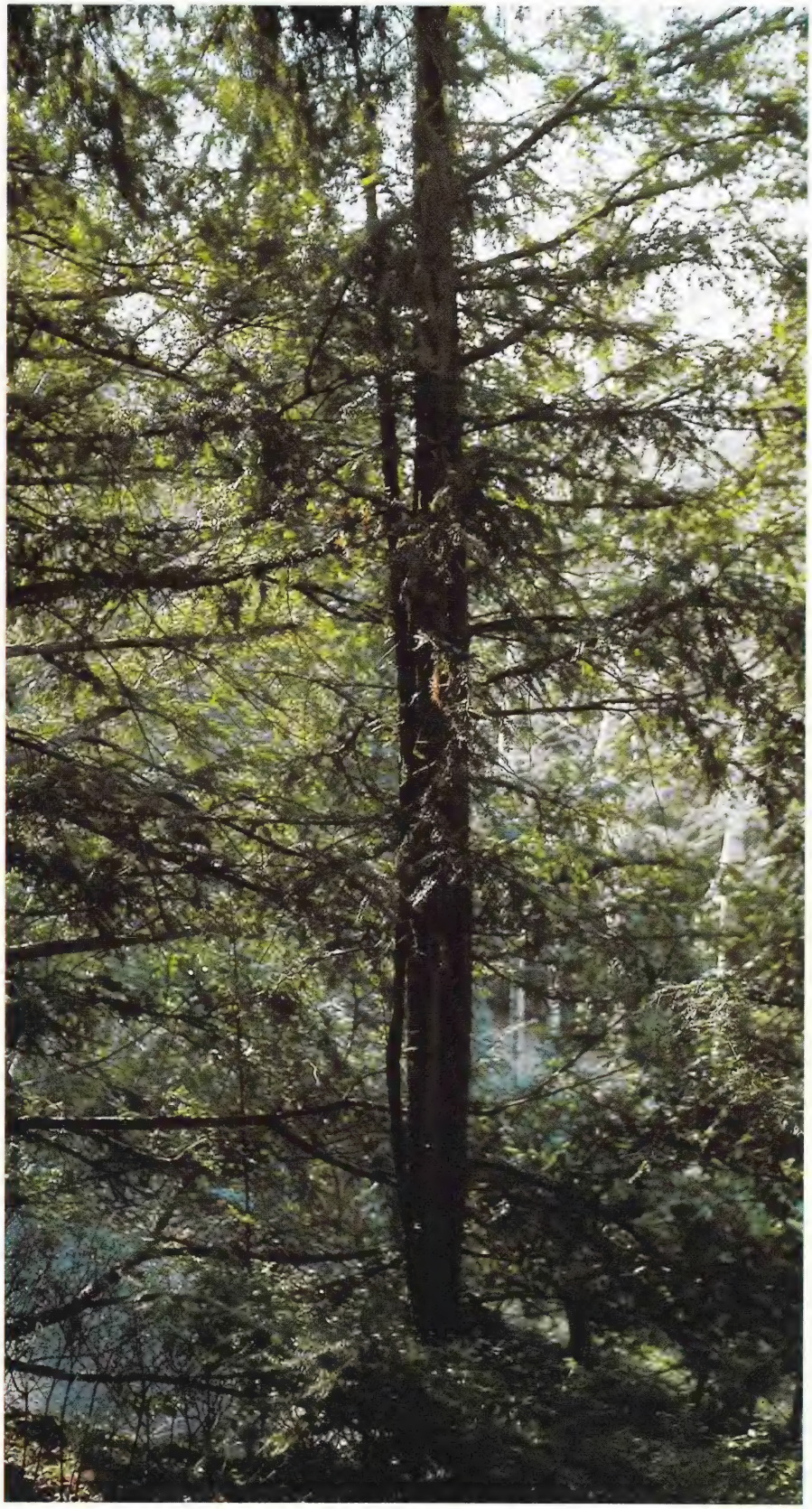
Wir wissen unterdessen, daß die Funde keine Nadelbäume verkörperten. Neue Entdeckungen in der Nähe des Ontariosees und andere, die unlängst in Europa gemacht wurden, zeigen die innere Struktur des Baumstamms: feine, ineinander verflochtene Röhren von unterschiedlicher Größe, in denen die größeren Röhren vertikal verlaufen, während die kleineren, die in ihrer Anordnung unregelmäßiger sind, die Zwischenräume ausfüllen. Die Pflanze wurde jetzt in *Nematophycus (Riesentang)* umbenannt.

Die Vertreter dieser Gruppe, die schon im unteren und mittleren Devon in Erscheinung traten, erreichten bis dahin nie dagewesene Ausmaße. Mit seinem gewaltigen Röhrenbündel saugte der riesige Nematophycus alles Wasser hoch, das nötig war, um Mineralien in sein Gewebe zu transportieren und um seine Zellen mit Feuchtigkeit zu versorgen. Dank der Höhe seines Stamms war er nicht der Unbeständigkeit des Meeresspiegels im Devon ausgeliefert und konnte sich nach Belieben ausbreiten, während die Uralgen wegen der Schwankungen der Hochwasserlinie zugrunde gingen.

Die Röhren- und Gefäßbündel der Nematophyten waren eine höchst bemerkenswerte „Erfindung" der Natur. Dank dieser Erfindung war Nematophycus mit dem allmählichen Rückzug der silurischen Meere fertig geworden. Zu dem Zeitpunkt, von dem hier die Rede ist, hatte sie

Unten: Holzgefäße einer zeitgenössischen höheren Pflanzenart, stark vergrößert. Deutlich zu erkennen sind die ringförmigen oder spiralig verlaufenden Wandverdickungen. Von links oben: Ringgefäß, Ringspiralengefäß, Spiralgefäß, Doppelspiralgefäß.





sich bereits bewährt; sie bedurfte allerdings noch einer größeren Perfektion, die in der Folge durch unzählige, oft kaum wahrnehmbare Veränderungen im Jahrmillionen dauernden Prozeß der natürlichen Auslese erreicht wurde: bei den *Psilophyten (Urfarne),* bei denen die beiden spezialisierten Gefäßarten im Stamm auch zwei unterschiedliche Funktionen wahrnahmen. Die Psilophyten waren danach die ersten höheren Pflanzen und damit die Vorfahren der Farne und heutigen Blütenpflanzen.

Linke Seite, rechts: Die Eibe, ein zeitgenössischer Nadelbaum mit breiter Krone. Im Jahre 1859 wurden Pflanzenfossilien aus dem Devon in Kanada gefunden. Die Struktur ihrer Stämme ähnelte der unserer zeitgenössischen Eiben; man nannte sie deshalb Prototaxites.

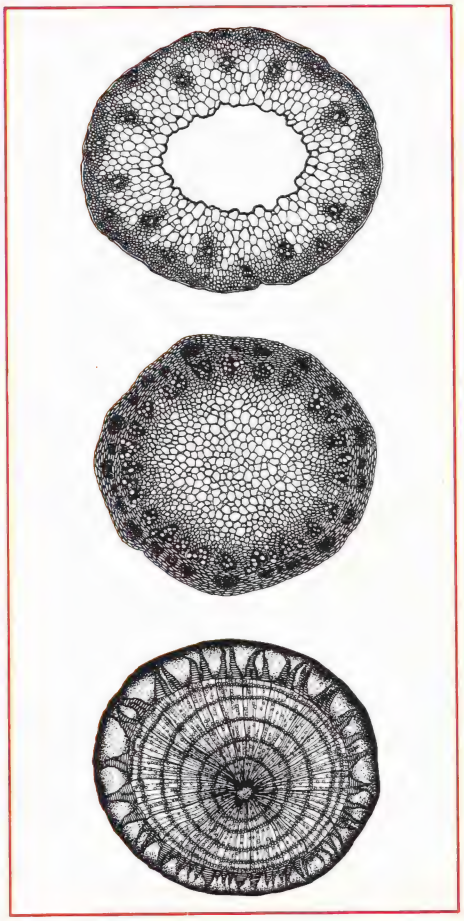
Der Wasserkreislauf in den rezenten Pflanzen

In den Psilophyten hatte die Natur einen Fortschritt von außerordentlicher Bedeutung erreicht. Wir wollen kurz verweilen und uns mit diesem Fortschritt am Beispiel der rezenten grünen Pflanzen genauer beschäftigen. Wie funktioniert nun der Flüssigkeitsstrom in der Pflanze? Zunächst wird Wasser von den Wurzeln aufgenommen; diese sorgen zugleich dafür, daß das lebenswichtige Wasser gelöste Mineralsalze enthält. Darauf wird die Flüssigkeit in einem ansteigenden Strom aufwärts befördert und dringt schließlich in all die feineren Verzweigungen des Gefäßsystems ein, die es zuletzt bis an die Blattzellen heranbringen. Schließlich werden die in den Blättern gebildeten Stoffe, die sog. *Assimilate,* weitertransportiert. Die Assimilate enthalten alles, was im Laufe der Verarbeitung durch die Pflanze entstanden ist; sie strömen in alle Richtungen, hauptsächlich jedoch nach unten zu den Wurzeln.

Der Säftestrom fließt durch ein System von Röhren, das genau für die jeweiligen oben beschriebenen Bedürfnisse geschaffen ist. Die Röhren oder Gefäße vereinigen sich zu dicken Strängen (Bündeln), die zugleich dem Stengel der Pflanze Festigkeit und Halt geben. Diejenigen Gefäße, in denen das aufgenommene Wasser aufsteigt, werden *Holzgefäße* genannt (aus ihnen bildet sich bei den höheren Pflanzen das Holz). Sie bestehen aus Säulen von langen, zylindrischen oder prismatischen Zellen. Der Zellinhalt stirbt ab, und die unterteilenden Querwände lösen sich auf. Es bilden sich starre Leitungen mit besonders kräftigen, ringförmig oder spiralig verlaufenden Verdickungen *(Ringgefäße, Spiralgefäße),* die auch netzartig miteinander verbunden sein können *(Netzgefäße).* Andere Leitungsbahnen (keine Röhren im strengen Sinn) befördern die Assimilate. Es sind die *Siebgefäße,* die aus lebenden Zellen bestehen. Auch diese Zellen bilden hohe Säulen mit vielfältig und fein perforierten, unterteilenden Querwänden, durch die die Flüssigkeit hindurchtreten kann. Die Siebgefäße bilden schließlich einen Teil der Rinde.

Die Anordnung der Gefäße und die Koordination der Leitbündel sind das Ergebnis einer sehr langen Evolution. Wir dürfen jedoch nicht vergessen, daß es eine solche Arbeitsteilung, wie bereits erwähnt, schon bei den Psilophyten gegeben hatte. Untersuchungen an ihren Fossilien haben gezeigt, daß es in der Mitte ihrer Stengel bereits Holzgefäße mit verdickten Gefäßwänden gab, die das Wasser befördern konnten, und daß es um diese Holzgefäße herum eine Rindenhülle gab, innerhalb der die Assimilate nach unten strömen konnten. Zusammenfassend kann man sagen, daß der ganze Stengel der Psilophyten einem einzigen Gefäßleitbündel entsprach. Damit war die für die höheren Pflanzen bahnbrechende Erfindung differenzierter Gefäßstrukturen vollzogen; und eben dies geschah im Silur.

Beispiele für die Verteilung der Gefäßbündel in den heutigen höheren Pflanzen. Hier Querschnitte durch die Stengel von Hafer (oben), einer Sonnenblume (Mitte), einer Linde (unten). Jeder Querschnitt zeigt die Holzgefäße innen, die Siebgefäße außen. Bei der Linde sind die Jahresringe erkennbar.



Rekonstruktion der seltsamen Psilophyten, die die Sümpfe und Torflandschaft von Rhynie in Schottland im mittleren Devon bedeckten. Fast alle Pflanzen, die hier zu sehen sind, gehören der Gattung Rhynia an. Oben tragen sie erkennbare Sporenbehälter. Rechts: mehrere Beispiele der Gattung Asteroxylon.

Das Reich der Psilophyten im Devon

Zu Beginn unseres Jahrhunderts wurde in Aberdeenshire in Schottland eine Entdeckung gemacht, die das Schicksal der Psilophyten stärker ins Licht rückte. W. Mackie, ein Gesteinskundler, entdeckte einige großartige Pflanzenfossilien unter Steinen, die in der Nähe der kleinen Stadt Rhynie für den Straßenbau verwandt wurden. In diesen Fossilien konnte man außerordentlich feine Details, sogar Strukturen innerhalb der Zellen, erkennen. Die Felsen, die diese Versteinerungen bargen, stammten aus dem mittleren Devon. Die fossilisierten Pflanzen waren Psilophyten. Wo sie gewachsen waren, enthielt das Wasser Kieselerde aus Vulkanfumarolen oder aktiven Vulkanen; dies hatte die Pflanzen vollständig mineralisiert.

Die Entdeckungen von Rhynie ließen die schottische Landschaft des Devons aus der Tiefe der Zeit wieder auferstehen: Wo heute das grüne schottische Hochland zur Nordsee hin abfällt, erstreckten sich vor rund 350 Millionen Jahren unendliche Ebenen von Marschland, die mit einer ganz außerordentlichen Fülle von Pflanzen bedeckt waren. Diese Pflanzen hatten Stengel, die in die Erde hineinreichten, aber keine Wurzeln. Sie steckten tief im Schlamm des Marschgrundes und des feuchten Torfbodens. Darüber erhob sich der gestreckte, blattlose

„Stamm"; die Stengel verdickten sich, genährt von der kräftig niederstrahlenden Sonne. Über den Marschen blies ein heißer Wüstenwind; denn diese fruchtbaren Tiefebenen waren von einer roten Wüste umgeben. In die warmen Farbtöne der trockenen Umgebung warfen rauchende Vulkane ein flackernd aufblitzendes, braunes und violettes Licht.

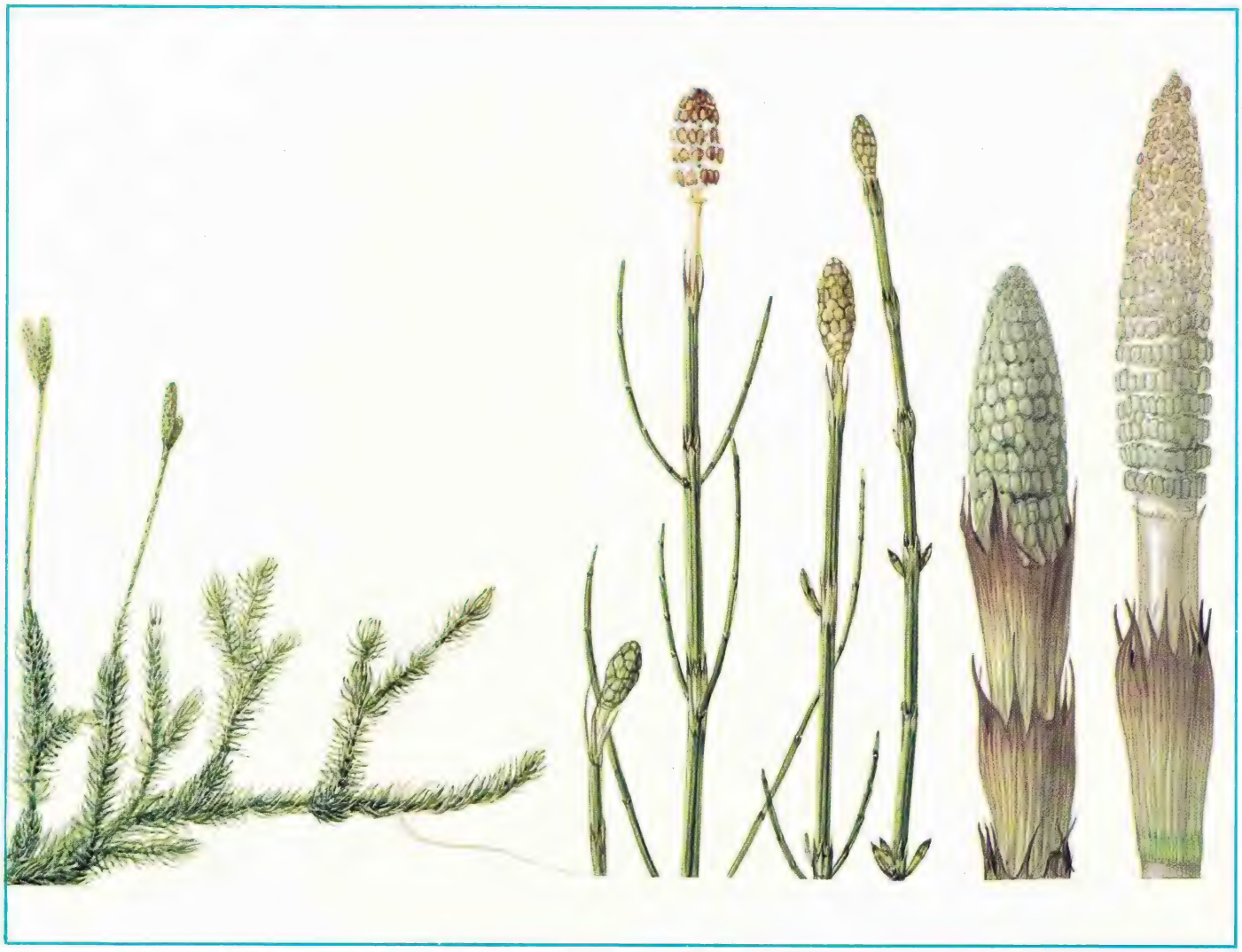
Die meisten der bei Rhynie gefundenen Pflanzen gehörten zur Gattung *Rhynia (Urlandpflanzen):* Pflanzen mit weichen Stengeln, die sich zur Spitze hin verzweigten und Sporenkapseln trugen. In ihren Stengeln oder Stämmen befanden sich Holzgefäße, die von einer Rindenschicht umgeben waren. Aber die Rinde war noch sehr primitiv. Sie bestand noch nicht aus Siebgefäßen, sondern nur aus säulenartig gestreckten, langen Zellen ohne unterteilende Querwände. Trotz der fortgeschrittenen Periode, in der die Vertreter von Rhynia gediehen, war ihr Inneres immer noch wie das ihrer Vorfahren aus dem Silur gebildet.

Neben Rhyniaarten gab es die Vertreter von *Asteroxylon.* Sie besaßen Stengel und Zweige, die mit dornähnlichen Auswüchsen bedeckt waren. Pflanzen dieser Art sollten sich als höchst durchsetzungsfähig erweisen, weil ihre Oberfläche in idealer Weise für den

Rekonstruktion der Pseudosporochnusbäume, Psilophyten des mittleren Devons. Diese Pflanzen besaßen noch keine echten Blätter oder Wurzeln.

lebenswichtigen Stoffaustausch mit der Atmosphäre geeignet war. Dies wiederum verhalf ihnen dazu, immer bessere „Auswüchse" zu entwickeln. Die „Dornen" dieser Pflanzen waren die Vorformen der eigentlichen Blätter.

Psilophyten aller Arten wuchsen überall auf dem nordatlantischen Kontinent in feuchten Tälern, in Marschgebieten und in weit auseinanderliegenden Wüstenoasen. Ihre Überreste wurden von Nordamerika bis Skandinavien – sogar im hohen Norden, in Grönland und auf Spitzbergen – gefunden. In Einzelfällen erreichten sie beträchtliche Größe, wie etwa beim *Pseudosporochnus,* einem Baum mit einem an der Basis verdickten Stamm von ca. 3 m Höhe. Das mittlere Devon war sozusagen die Ära dieser noch primitiven Pflanzen. Ihre explosive Ausbreitung war jedoch nur von relativ kurzer Dauer. Im oberen Devon waren sie bereits vollständig verschwunden. An ihre Stelle traten besser entwickelte Nachfahren, die schon Wurzeln und richtige Blätter hatten. Außer einer Reihe von unbedeutenden Pflanzen (wie *Psilotum*) ist nichts von ihnen erhalten geblieben.



Von den Psilophyten zu den Samenpflanzen

Wie wir in dem vorhergehenden Kapitel gehört haben, konnte die Geschichte der Baragwanathia (jener außergewöhnlichen Blattpflanze des oberen Silurs) durch Pflanzenversteinerungen einer späteren Periode aufgeklärt werden. Darüber wissen wir jetzt mehr. Wir verdanken dies den Psilophyten des oberen Silurs, da wir an ihnen die verschiedenen Stufen der pflanzlichen Evolution bis hin zur Ausbildung von Blättern verfolgen können. Die Baragwanathien haben sich offenbar weiterentwickelt und dabei etwas zu früh stark spezialisiert, nämlich zu einer Zeit, in der die natürlichen Gegebenheiten für diesen Typ Pflanze noch nicht geeignet waren. Tatsächlich waren sie im unteren Devon bereits ausgestorben.

Das Schicksal der Psilophyten sah dagegen ganz anders aus. Unzählige unterschiedliche Pflanzenfamilien gingen von ihnen aus, einige davon sind heute ausgestorben, andere nicht. Diese Pflanzenfamilien waren die Begründer unserer gegenwärtigen Flora. Man kann sagen, daß die Nachkommenschaft der Psilophyten das Antlitz unserer Erde total verändert hat.

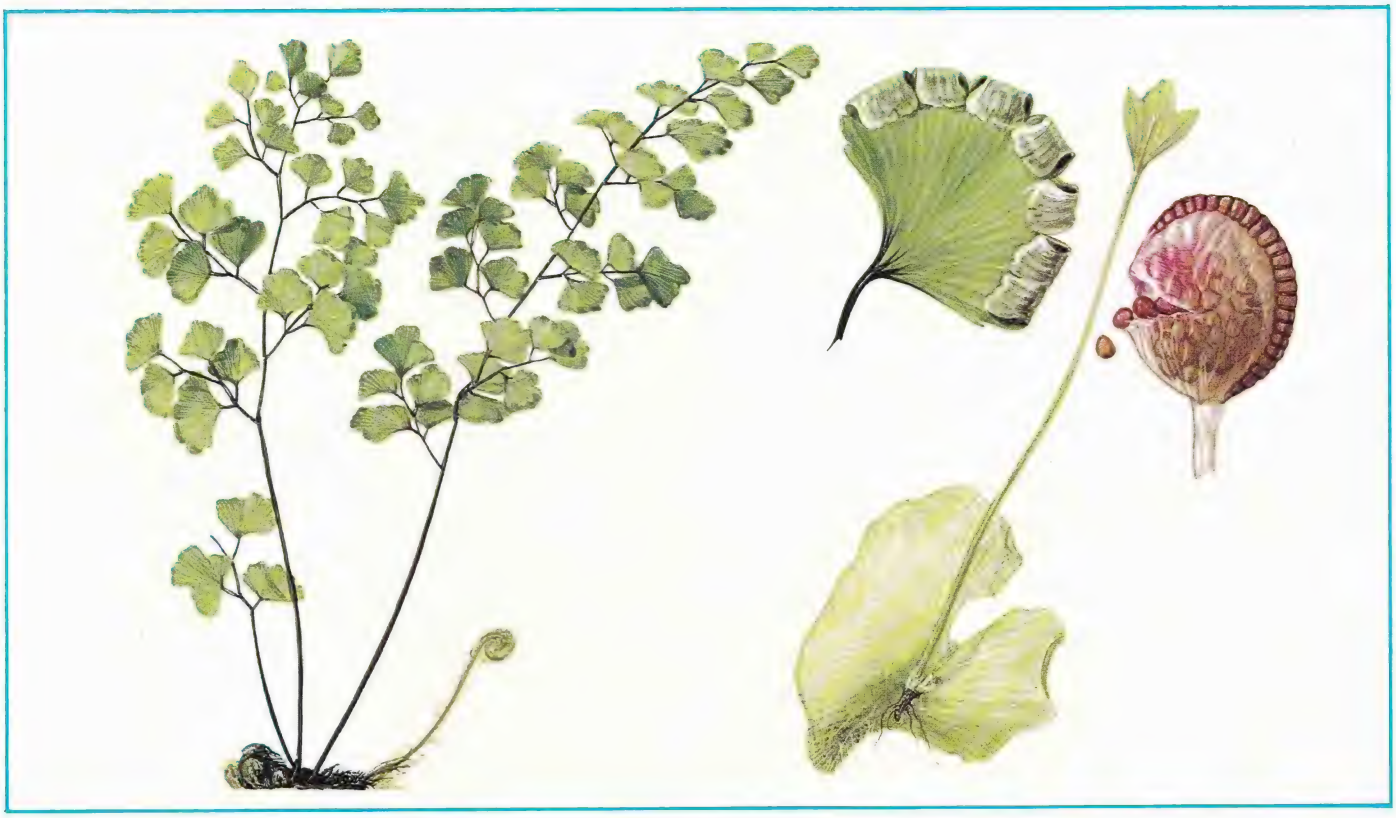
Einige zeitgenössische Pteridophytenexemplare. Links: Lycopodium; Mitte: einige Schachtelhalme; rechts: die Spitzen fruchtbarer Schachtelhalmzweige mit Sporenkapseln. Die Darstellung der Pflanzen erfolgt ohne Rücksicht auf tatsächliche Proportionen.

Rekonstruktion eines Waldes im mittleren Devon. Darin wuchsen die großen Pteridophyten, die Vorfahren der Schachtelhalme und Farne unserer heutigen Welt.

Gruppe von Farnen im Unterholz eines Waldes von heute.

Noch heute nehmen die *Farne (Filicinae)* mit ihren eleganten, fächerförmigen Blättern und ihrer Vorliebe für feuchte Plätze unter den niederen Pflanzen einen breiten Raum ein. Im Verein mit ihnen sind natürlich auch die bescheidenen *Bärlappgewächse (Lycopodiaceae)* und die schlanken *Schachtelhalme (Equisetinae)* mit ihrem zerbrechlichen Stengel und den typischen keulenförmigen Sporenträgern zu nennen. Diese Pflanzen gehören einer ungeheuer großen Gruppe des Pflanzenreichs an, die in fernen Erdzeitaltern den ganzen Planeten in riesigen Formen bedeckte. Es handelt sich hierbei um die Gruppe der *Pteridophyten,* welche die Klasse *Psilolopsis* einschließt, die etwa in der Mitte zwischen Algen und Samenpflanzen anzusiedeln ist. Die Pteridophyten breiteten sich schon im mittleren Devon aus, also zu einer Zeit, als ihre ursprünglichen Vertreter, die Psilophyten, schon zum Aussterben verurteilt waren.

Zu diesem Zeitpunkt war die Loslösung der Pflanzen vom Lebensraum Wasser bereits vollzogen. Aus bescheidenen unterirdischen Auswüchsen am Stengel der Psilophyten hatten sich echte *Wurzeln* gebildet, welche auf der Suche nach Wasser tief in den Boden eindrangen, da das Wasser nicht mehr an die Oberfläche kam. Die grünen Dornen, die die Stengel bedeckt hatten, waren verschwunden; an ihrer Stelle hatten sich Blätter aller Art auf schon recht komplizierten Zweigen entwickelt. Diese Evolution führte zu einer völligen Umgestaltung des Pflanzenreichs zwischen dem mittleren und oberen Devon, die im Erscheinen der (auch als Blütenpflanzen bezeichneten) Samenpflanzen gipfelte.



Die Fortpflanzung bei den alten Landpflanzen

Um diese „Revolution" verstehen zu können, müssen wir zuvor die Fortpflanzung bei den Pteridophyten verstanden haben. Wir werden sehen, auf welch wunderbare Weise die Konstruktion des Samens die Pflanze instandsetzte, die Erde zu erobern. Betrachten wir z.B. einen unserer rezenten Farne. Auf der Unterseite ihrer grünen Blätter (der *Sporophylle*) befinden sich bräunliche Sporenbehälter. Die *Sporen* brechen, sobald sie reif sind, aus ihnen hervor und fallen auf den feuchten Boden. Nun könnte man annehmen, daß aus diesen Sporen Pflanzen hervorgehen würden, die mit der Mutterpflanze identisch wären. Dies ist jedoch nicht der Fall. Statt dessen entwickelt sich ein kleiner, grüner *Vorkeim (Prothallium),* der sich dicht am Erdboden einwurzelt. In speziellen Organen bringt er männliche und weibliche Keimzellen hervor. Ist das Prothallium naß von Regen oder Tau und sind die Organe reif, dann schwimmen die männlichen Keimzellen in einem dünnen Wasserfilm, der das Prothallium bedeckt, zu den weiblichen Keimzellen. Aus der Vereinigung (Befruchtung) entstehen neue Farnpflanzen.

Wir haben also einen Fortpflanzungszyklus aus einer sporentragenden Pflanze *(Sporophyt),* einem Keimzellen hervorbringenden *Gametophyten* und wieder einem Sporophyten vor uns. Während nun die einzelnen Phasen dieses Generationswechsels nur bei Anwesenheit von Wasser ablaufen können, vermag der Sporophyt, unabhängig von Wasser, sein ganzes Leben auf dem Land zu verbringen. Das Prothallium ist also praktisch noch eine Wasserpflanze, wie ja auch die Vorfahren der Pteridophyten im Silur Wasserpflanzen waren.

Reproduktionszyklus der heutigen Farne (hier Frauenhaarfarn). Links: vollständige Pflanze (Sporophyt) des Frauenhaarfarns; rechts oben: Blattdetail mit Gruppen von Sporenkapseln und der Kapsel im Augenblick der Öffnung, bei der die Sporen herausgeschleudert werden (hier stark vergrößert); rechts unten: Gametophyt mit bereits entwickeltem Sporophyt.

Die *Algen* übertrugen alternierende Generationsphasen, die im Wasser frei aufeinander folgten, auf das feste Land und verfolgten auf der Suche nach dem Erfolg zwei Wege: Einige betonten die Gametophyten stärker, andere die Sporophyten. Die ersteren waren stark von Wasser bzw. Feuchtigkeit abhängig und begründeten so einen Typ kleiner, unbedeutender Pflanzen, der *Bryophyten (Moose).* Die letzteren, die die Sporophyten stärker betonten und gegen Trockenheit weniger empfindlich waren, siegten schließlich.

Der Sieg der Sporophyten und die Entstehung der Wälder

Wenn wir die aufeinanderfolgenden Phasen in der Evolution zu den Samenpflanzen richtig begreifen wollen, müssen wir uns jetzt einen bestimmten Farn von heute betrachten, nämlich *Selaginella (Moosfarn).* Bei den Vertretern dieser Gattung sind die Sporen bereits im voraus, d. h. vor dem Erscheinen des Prothalliums, geschlechtlich bestimmt. Der Sporophyt trägt nämlich kleine und große Sporen in seinen Sporenkapseln. Aus den kleineren *(Mikrosporen)* gehen männliche Gametophyten, aus den größeren *(Makrosporen)* weibliche hervor. Es gibt außerdem zwei Arten von Prothallien, die sich jedoch nicht auf der Erde entwickeln, sondern innerhalb der Sporen. Die Gametophyten bringen ihrerseits die Gameten (männliche und weibliche Geschlechtszellen) hervor, aus denen die neue Pflanze entsteht.

Obgleich Selaginella eine unserer rezenten Pflanzen ist, weist sie uns auf den Weg hin, den die Urpflanzen einschlugen, als sie sich endgültig vom Wasser unabhängig machten. Wie gesagt, besitzt Selaginella keine Gametophyten, die imstande wären, sich auf dem Erdboden zu entwikkeln; die Gametophyten sind vielmehr ganz und gar auf die Unterstützung der Sporophyten angewiesen. Die Sporophyten aber setzten sich durch, und dabei bahnten sie den Weg für die höheren Pflanzen. Man kann also sagen, daß die höheren Pflanzen praktisch Sporophyten mit kurzlebigen Gametophyten darstellen, die für eine gewisse Zeit in der Blüte enthalten sind, bevor sich über eine Befruchtung die Samen bilden.

Es gibt auch bei höheren Pflanzen (bei den sogenannten Blütenpflanzen oder Samenpflanzen) noch Sporen oder wenigstens ein Äquivalent der Pteridophytensporen. Die Blüte, das eigentliche Fortpflanzungsorgan der höheren Pflanzen, ist mit dem Sporphyll vergleichbar, die gelben Pollenkörner entsprechen den Mikrosporen, und das weibliche „Herz der Blüte" (der Embryosack) entspricht den Makrosporen. Der Gametophytenzyklus mußte sich im Vergleich zum Fortpflanzungsprozeß bei den Farnen naturgemäß einer radikalen Veränderung unterziehen.

Der wichtigste Fortschritt bei all diesen Vorgängen ist die Tatsache, daß die *Vermehrung der höheren Pflanzen* wasserunabhängig erfolgt. (Der Blütenstaub kann natürlich durch Wasser verbreitet werden, aber ebenso auch durch den Wind, ganz zu schweigen von den Insekten.) Außerdem kann der Samen, das Endprodukt der ausgereiften Gametophyten, Perioden der Austrocknung, ohne Schaden zu nehmen, überdauern; im geeigneten Augenblick wird er sich doch zu einer neuen Pflanze entwickeln.

Diese erstaunliche Evolution hatte schon im oberen Devon stattgefunden – zu einer Zeit, in der z. B. auch die *Samenfarne (Pteridospermae)* florierten. Obwohl ihre Blätter denen eines Farns glichen, erzeug-

Oben: Blütenstaub unter dem Mikroskop. Pollen von höheren Pflanzen entsprechen den Mikrosporen mancher Pteridophyten.

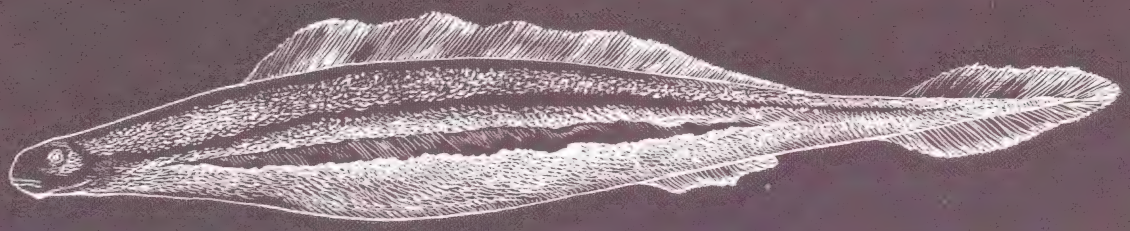
Links: Rekonstruktion eines Protolepidodendron, eines Pteridophyten des Devons, der in Sumpfgebieten heimisch war.

ten sie Samen. Außer ihnen gab es dann noch die *Kordaiten,* die vieles mit Nadelbäumen gemeinsam hatten, obwohl sie erheblich primitiver waren. Der schönste unter ihnen war *Callixylon,* ein stattlicher Baum, der bis zu einer Höhe von 18 m heranwuchs. Zusammen mit den Farnen, die groß wie Bäume waren, und anderen Pteridophyten bildeten diese Samenpflanzen regelrechte ausgedehnte Wälder.

Mit der Verbreitung dieser Pflanzen im Devon ging natürlicherweise eine Verbreitung all der Organismen Hand in Hand, die mit ihnen in irgendeiner Art verbunden waren. Die bestehenden Wechselbeziehungen zwischen grünen Pflanzen, Pilzen, Bakterien, Urtierchen und Gliederfüßern wurden immer komplexer. Einerseits wurden die Nahrungsketten um einige Raubtiere erweitert, da die Spinnen und Skorpione sich zahlenmäßig vermehrten. Andererseits nahm die Zahl der Reduzenten (das sind die Organismen, hauptsächlich Kleinlebewesen, die abgestorbene organische Substanz verarbeiten) ständig zu. Es bildete sich eine bodennahe und bodenbedeckende Pflanzenschicht. Auf diese Weise bahnten grüne Pflanzen und die dazugehörigen Ökosysteme den Weg für eine Belebung der Kontinente, die bis zu diesem Zeitpunkt lediglich aus Wüsten und öden Landstrichen bestanden hatten.

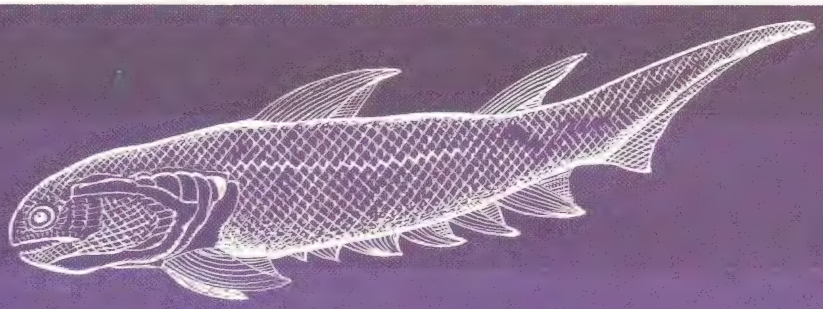
Silur

Jamoytius



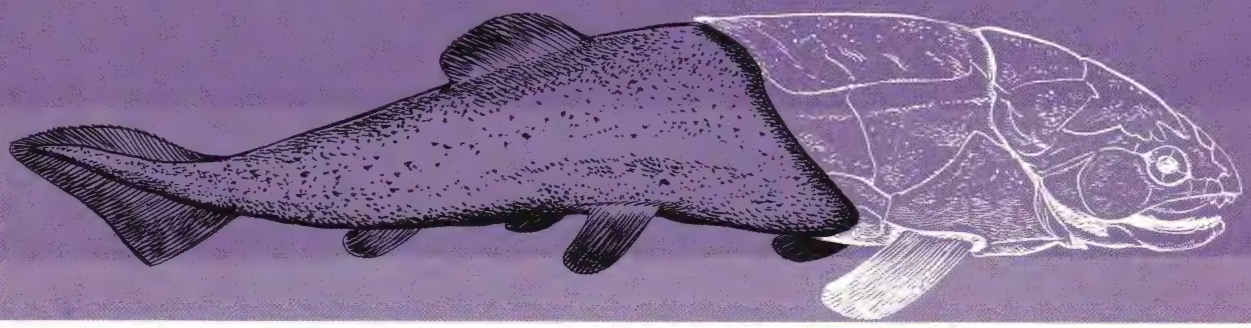
Silur

Climatius



Devon

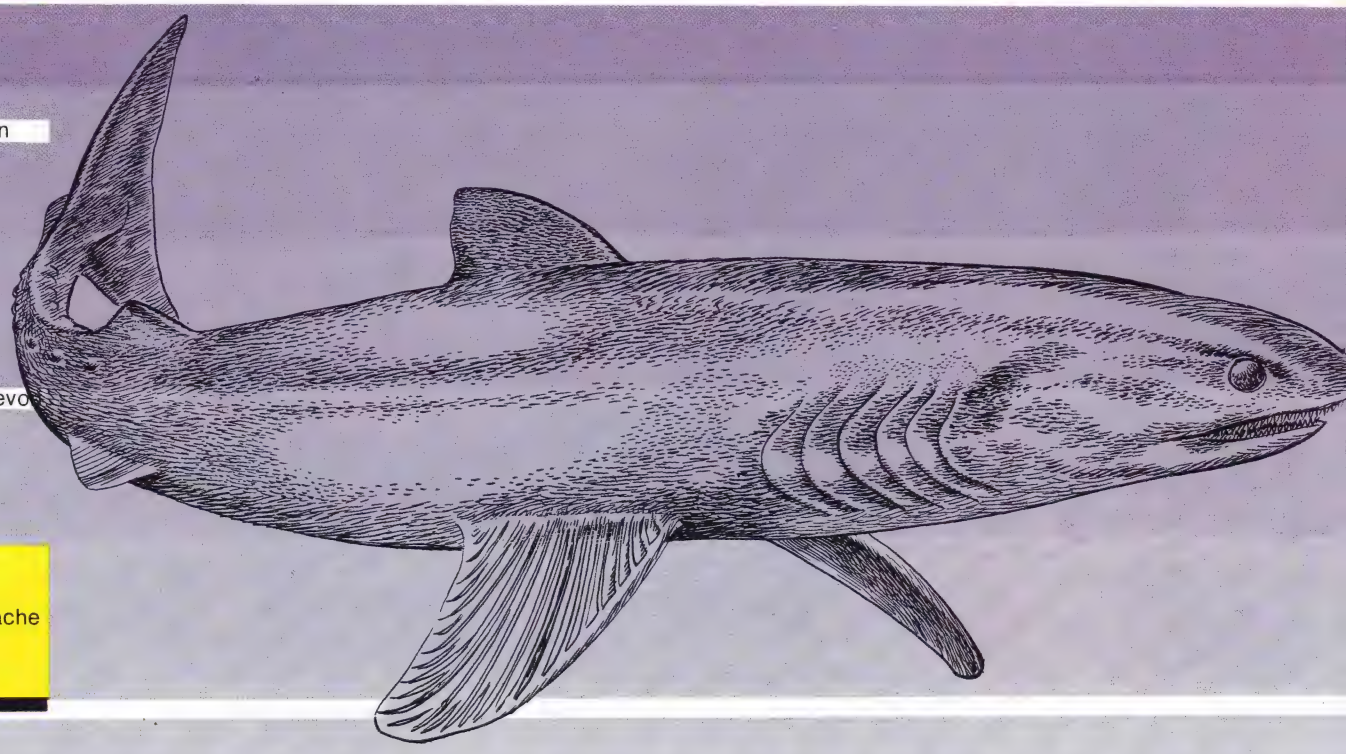
Coccosteus



Devon

oberes Devon

Cladoselache



Der Wandel der Panzerfische im Devon

Devonische Fische und ihre Umwelt

In der ersten Hälfte des letzten Jahrhunderts begannen Geologen, die devonischen Schichtungen gründlicher zu analysieren. Dabei wurden sie am stärksten beeindruckt von der Fremdartigkeit der fossilen „Fische", die sie in den Gesteinsschichten entdeckten. Überraschenderweise sahen diese Funde gar nicht wie Fische aus; denn oft war nichts weiter von ihnen erhalten als Panzerfragmente oder einzelne Schuppen. Diese ähnelten mehr den Überresten von Krustentieren oder Weichtieren, was eine exakte Zuordnung fast unmöglich machte. Im Jahre 1835 vermochte der schweizerisch-amerikanische Geologe L. Agassiz (1807–1873) diese Fischfossilien genauer zu analysieren (sein Lehrwerk über Fischfossilien ist immer noch von grundlegender Bedeutung). Seine Thesen stießen jedoch auf den Widerspruch derjenigen, die behaupteten, daß die Fossilien lediglich Überreste der inneren Schalen von Zephalopoden darstellten. Damit wurde eine mehrere Jahrzehnte dauernde wissenschaftliche Kontroverse ausgelöst. Der endgültige Beweis dafür, daß es sich tatsächlich um Fische handelte, wurde erst 1963 erbracht.

Seitdem ist viel Zeit verstrichen, und die alten Streitfragen sind zum großen Teil vergessen, aber die Seltsamkeit dieser Fische der Vergangenheit erregt immer noch die wissenschaftliche Neugier. Dies darf nicht weiter überraschen; denn nicht nur lebten diese außerordentlichen, kieferlosen Panzerfische, die wir schon in den Silurkapiteln kennengelernt haben, im Devon weiter, es gesellten sich vielmehr auch andere Panzerfische zu ihnen, die aus vielen Gründen noch erstaunlicher waren. Die ichthyologische Fauna der devonischen Gewässer war wirklich einmalig.

Die meisten Arten dieser Fauna waren im kontinentalen Süßwasser oder in den brackigen Lagunen zu Hause. Gegen Ende des Silurs kehrten mehrere Arten von Panzerfischen (Ostrakodermen) zum Meer zurück; aber ihre begrenzten „Talente" (wenn dieser Ausdruck gestattet ist), die die Folgen ihrer eingeschränkten Beweglichkeit und des Fehlens eines gegliederten und also aufklappbaren Mauls waren, boten ihnen wenig Möglichkeiten.

Linke Seite: Veränderungen in der silurischen Fischwelt gegen Ende des Devons. Von oben nach unten: Agnath des oberen Silurs (Jamoytius); Akanthode aus dem oberen Silur und Climatius aus dem unteren Devon; Plakoderm aus dem mittleren Devon und Coccosteus aus dem oberen Devon; Cladoselache des oberen Devons.

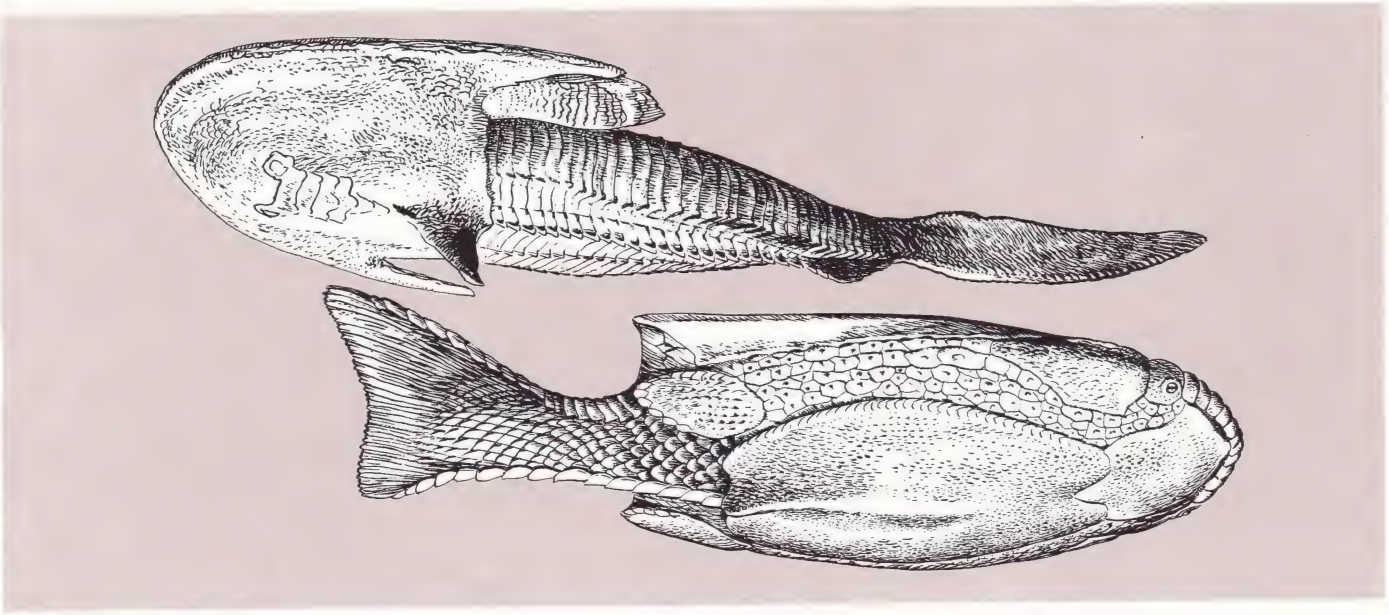
Außerdem fanden im Silur und im Devon jene gewaltigen Umbildungen der Erde statt, durch die die Algen und die Gliederfüßer ans feste Land getrieben wurden. Auch die Fische in den Küstengewässern wurden davon betroffen und mußten sich oft auf ein Leben in Sümpfen und geschlossenen Lagunen umstellen. Auf diese Weise nahm der Anteil der Fische in den Binnengewässern laufend zu. Später änderte sich die Situation wieder, und neue Fischarten wanderten zurück zum offenen Meer, aus dem ihre Vorfahren gekommen waren. Mittlerweile machte die Evolution in den Binnengewässern einen weiteren bedeutsamen Schritt, der von den Fischen zu den Amphibien führen sollte.

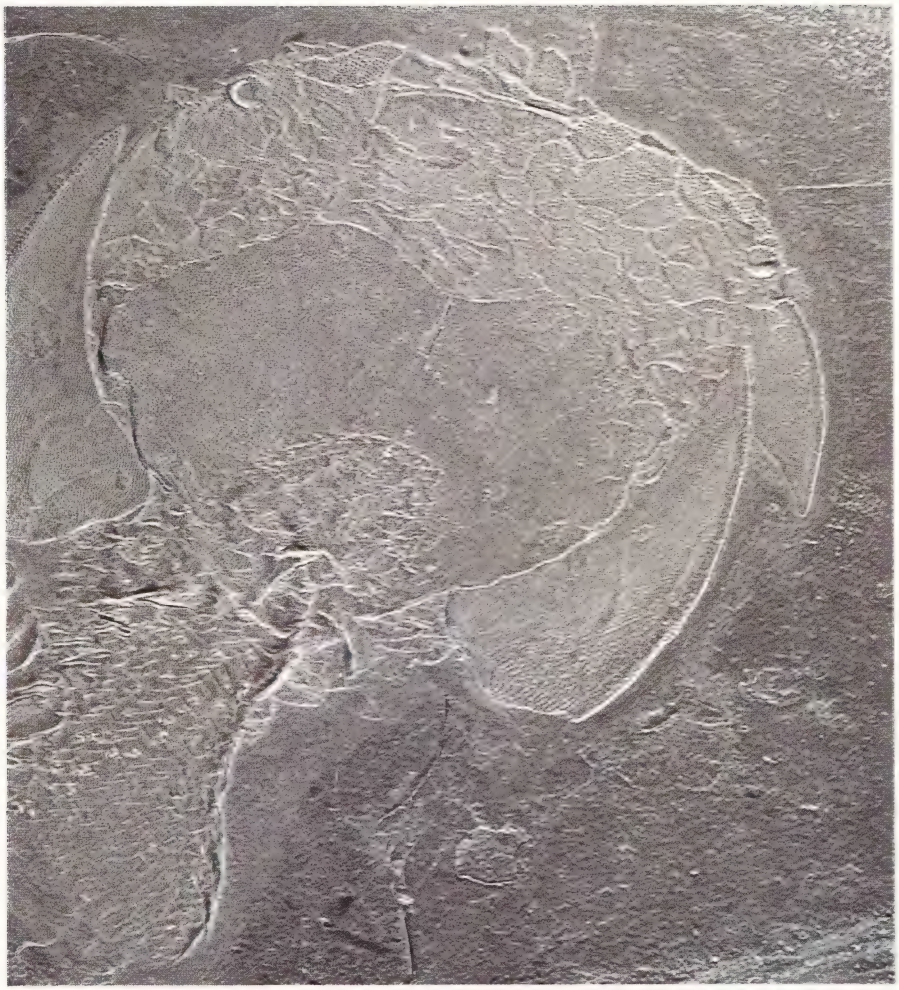
Größe und Niedergang der Agnathen

Wir haben uns weiter vorn eingehend mit den *Agnathen (Kieferlose)* – zu denen auch die Ostrakodermen gehören – beschäftigt. Diese Gruppe erlebte im Unterdevon die Blütezeit ihrer Entwicklung, und das trotz des zerstörerischen Einflusses der räuberischen Seeskorpione (Eurypteriden). Man könnte sogar sagen, daß während des Silurs zwischen Kieferlosen und Seeskorpionen ein Gleichgewicht bestanden hat ähnlich wie heute zwischen Löwen einerseits und Antilopen und Zebras andererseits, die in den Savannen Zentralafrikas nebeneinander existieren, ohne daß einer von ihnen, ob Raubtier oder Beute, in Gefahr ist auszusterben. Die Agnathen mußten sich natürlich einigen Anpassungen unterziehen (z. B. Panzerentwicklung, Eingrabung in den Meeresboden), die es ihnen erlaubten, ihren Feinden zu entkommen. Hatten sich diese Veränderungen erst einmal durchgesetzt, konnten sich die Agnathen fast ungestört weiterentwickeln.

Im unteren Devon machten auch die früher angesprochenen *Zephalaspidomorphen* beträchtliche Fortschritte. Ihr Panzer bildete sich zurück, und der hintere Teil ihres Körpers sowie ihre primitiven Flossen wurden bedeutend besser ausgestaltet. Dadurch gewannen diese Fische eine viel größere Beweglichkeit als ihre schwer bepanzerten Vorfahren. Unter den Zephalaspidomorphen befanden sich mehrere

Rekonstruktion eines Drepanaspis. Dieses Lebewesen hatte sich in ganz ungewöhnlicher Weise den Bedingungen auf dem Meeresboden angepaßt. Unten: Kiaeraspis, ein klassischer Panzerkopffisch aus dem unteren Devon. Dieser Fisch besaß keine Kiefer und wurde dadurch berühmt, daß seine Fossilien eine Untersuchung der elektrischen Organe und des Nervensystems primitiver Fische ermöglichten.





Sehr schöne Versteinerung eines Drepanaspis aus dem unteren Devon in Deutschland.

nennenswerte Gruppen: *Kiaeraspis,* durch Fossilfunde bekannt, die den Wissenschaftlern die Untersuchung seines Gehirns und seiner elektrischen Organe ermöglichten; *Hemicyclaspis,* der schon im Kapitel über die silurischen Fische erwähnt wurde; schließlich der 15 bis 30 cm lange *Cephalaspis,* der so viele fossile Beweise im Oldred aus dem unteren Devon in Schottland hinterlassen hat.

Auch die Vertreter der anderen großen Unterklasse der Agnathen, der *Pteraspidomorphen* (nach Pteraspis benannt), nahmen allmählich an Größe zu. Bei dem ca. 30 cm langen Drepanaspis z. B., von dem vollständig erhaltene Fossilien aus dem unteren Devon in Deutschland gefunden wurden, waren Kopf und Körper stark abgeflacht, was zusammen mit anderen Eigenschaften bezeichnend für eine perfekte Anpassung an das Leben auf dem Meeresboden ist.

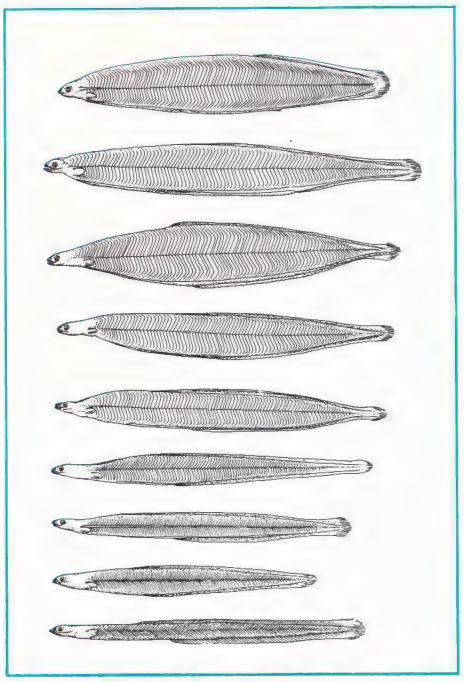
Periodische Massenwanderungen primitiver Fische

Dank der Untersuchung des roten Sandsteins in Nordostschottland waren Wissenschaftler in der Lage, die Umgebung der devonischen Fische im Inneren des nordatlantischen Kontinents zu rekonstruieren. Ihre Entdeckungen ergeben ein sehr lebhaftes Bild. Manche Bereiche dieses riesigen, jetzt verschwundenen Kontinents waren mit seichten

Seen geradezu übersät. In den Schichtungen sind oft die nahe aneinanderliegenden wellenförmigen Umrisse erhalten, die die Bewegungen der Wellen auf dem Sand des Meeresbodens hinterlassen haben. Aber es gibt in diesen Schichtungen auch netzförmige Risse, die auf das Vorhandensein von matschiger, von der Sonne ausgetrockneter und erhärteter Erde hindeuten. Es ist also klar, daß es in dieser Umwelt keine dauerhaften, gleichbleibenden Lebensbedingungen gegeben haben kann. Gewaltige Regenströme füllten die tieferliegenden Gegenden und ließen dadurch Seen entstehen. Kurz darauf wurden diese Seen von der brennenden Sonne wieder ausgetrocknet. Für die Seebewohner hätten derart extreme Wechselbedingungen eigentlich tödlich sein müssen. Aber das Leben erwies sich als unvorstellbar zäh: Die Agnathen überstanden alle diese Umwälzungen in ihren elementaren Lebensvoraussetzungen und verbreiteten sich jeweils nach verhältnismäßig kurzer Zeit weiter über das ganze Oldredgebiet.

Die Vermehrung und Ausbreitung dieser Fische waren wirklich erstaunlich. Viele von ihnen lebten in Nordamerika, in der hohen Arktis, in Europa und in Sibirien, und zwar sowohl im Meer als auch im Süßwasser. Ihre fossilen Überreste wurden in kontinentalen Ablagerungen gefunden. Man vermutet, daß die Agnathen sich im Meer fortpflanzten und daß danach die jungen Larven die Flüsse wieder hinaufschwammen und sich schließlich in den Seen des nordatlantischen Kontinents ansiedelten.

Der Aal ist ein zeitgenössischer Fisch, der in Flüssen lebt, sich aber im Meer fortpflanzt. Rechts: Ausgewachsener Aal. Links: Junger Aal in den verschiedenen Entwicklungsphasen seines Lebens im Meer.



Diese Theorie hat eine bemerkenswerte Parallele in der Fortpflanzung der heute lebenden Aale. *Aale* sind typische Süßwasserfische. Sie leben in Flüssen, Seen und sogar in Teichen. Um diese zu erreichen, überqueren sie gelegentlich sogar eine gewisse Strecke außerhalb des Wassers; der Boden, auf dem sie sich bewegen, muß jedoch in jedem Fall feucht sein (z. B. nasses Gras). Jahrelang bleiben die Aale in den Binnengewässern. Sobald sie jedoch geschlechtsreif werden, wandern sie die Flüsse hinab und steuern, von einem unwiderstehlichen Instinkt getrieben, auf das offene Meer des Atlantischen Ozeans zu, und zwar genau in Richtung *Sargassosee.* Dort findet die Fortpflanzung statt und kommen auch die kleinen Larven zur Welt. Die Larven müssen dann den langen Weg zu den Flußmündungen in Nord- und Mittelamerika, Europa und in den Mittelmeerländern zurückfinden. Am Ende ihrer etwa drei Jahre dauernden Reise sind sie, bevor sie ihre Standorte erreichen, zu den etwa 8 cm langen sogenannten *Glasaalen* geworden. In den jeweiligen Flüssen verbringen sie nun die nächsten Jahre als Süßwasserfische.

Es ist gut möglich, daß auch die Agnathen sich so verhielten. Sie lebten in einer Süßwasserumgebung; da aber ihre Vorfahren aus dem Meer stammten, fühlten sie sich wohl instinktiv auch mit dem Meer verbunden. Möglicherweise wanderten also die geschlechtsreifen Agnathen, wie die Aale heute, die Flüsse hinab zum Meer, das im Süden die Küsten des Oldreds überspülte. Nachdem die Fortpflanzung vollzo-

Europäische und amerikanische Aale pflanzen sich im Atlantik fort und brechen dann von dort auf zu den Süßwassergebieten – Flüssen und Seen beider Kontinente. Die durchlaufenden Linien weisen auf die Gebiete hin, in denen Larven zu finden sind. Die gestrichelten Linien bezeichnen die Standorte der ausgewachsenen Aale.

Rechte Seite: Durch die Bildung von gegliederten und aufklappbaren Kiefern mit Zähnen entwickelten sich auch die großen Raubfische; auf dem Bild ein Tigerhai.

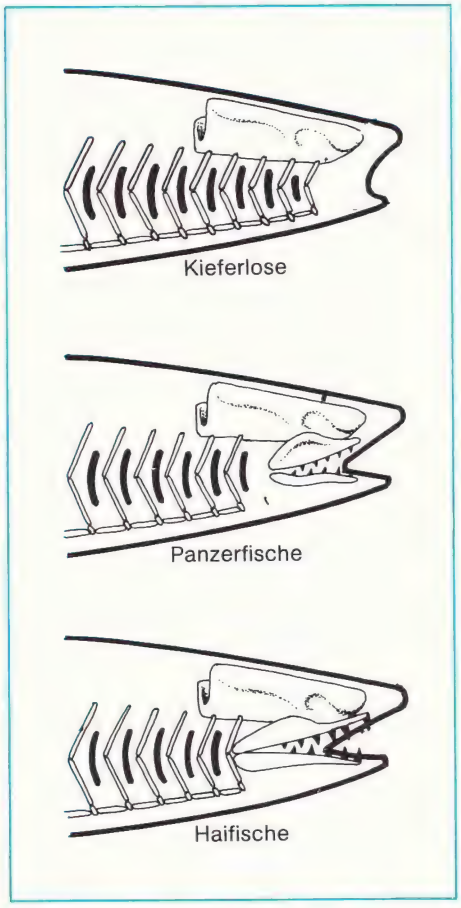
gen war, starben sie, und die jungen Larven machten sich auf den langen Weg zurück zu dem Ort, an dem sie ihr Leben als ausgewachsene Fische verbringen sollten.

Wie die Fische zu einem gegliederten Maul kamen

Die Agnathen sind heute nur noch durch einige Fischarten mit glatter Haut vertreten, die sowohl im Meer als auch im Süßwasser zu finden sind. Diese rezenten Vertreter können jedoch das Geheimnis ihrer gepanzerten Vorfahren nicht entschleiern. Jene fremden Wesen mit Saugnapfmaul, die aussahen wie eine Kreuzung zwischen Krustentier und Fisch, haben keine Spuren hinterlassen. Wir sind einzig auf Rekonstruktionen angewiesen, die die Wissenschaftler in mühevoller Kleinarbeit hergestellt haben. Uns interessiert besonders die Frage, warum die Agnathen bis auf einige wenige rezente Vertreter ausgestorben sind.

Die Antwort auf diese Frage geben uns die Vertreter einer ausgestorbenen Fischgruppe, die den Agnathen damals als Feinde gegenüberstanden. Es ist die Klasse der *Panzerfische* oder *Plakodermen.* Diese stellten einen außerordentlichen Fortschritt in der Evolution der Wirbeltiere dar; denn sie besaßen ein echtes Maul mit einem Kiefer und mehr oder weniger primitiven Zähnen, die packen, reißen und zerfetzen konnten. Dieses Maul war ein Organ, das die Wirbeltiere von der Tyrannei der Raubtiere befreite. Mit dem Erscheinen der Plakodermen schafften die Wirbeltiere selbst den Übergang vom Beutetier zum Raubtier. Erst hiernach war es ihnen möglich, eines Tages die Erde zu erobern.

Unten: Schematischer Vergleich der Anordnung von Kiemenbögen und des Vorderkopfs bei Agnathen, Plakodermen und Selachiern (Haie und Rochen). Die Darstellung zeigt, wie sich die Kiefer aus den vorderen Kiemenbögen entwickelten.



Um verstehen zu können, wie sich die Kiefer der Panzerfische entwickelt haben, wollen wir uns den Hai von der Seite ansehen: Zwischen seinem Maul und dem ersten Flossenpaar öffnen sich die Kiemen mit langen, breiten Kiemenspalten nach außen; dies wird durch knorpelige Bögen *(Kiemenbögen)* zwischen den einzelnen Kiemenspalten erreicht. Durch die Kiemenbögen strömt ständig Wasser zwischen den Kiemen. Jeder einzelne Kiemenbogen besteht aus zwei Teilen, einem oberen und einem unteren, die miteinander verbunden sind.

Eben diese Strukturen gab es bereits bei den primitiven Fischen. Jedoch befand sich bei den Agnathen, weil die Kiefer noch fehlten, das erste Kiemenbogenpaar unmittelbar hinter dem Maul. Um das Maul selbst entwickelte sich allmählich eine verfestigte Struktur. Durch Mutationen vereinigten sich die vorderen Kiemenbögen im Maul der Tiere, was eine Steigerung der Leistungsfähigkeit bedeutete. Eine optimale Leistungssteigerung ergab sich dort, wo durch Gliederung zwischen den oberen und unteren Teilen der Bögen die Kiefer beweglich wurden; dies ist dann die Herausbildung eines Mundes, im Grunde schon eines Mundes, wie er für die höheren Wirbeltiere und den Menschen charakteristisch ist.

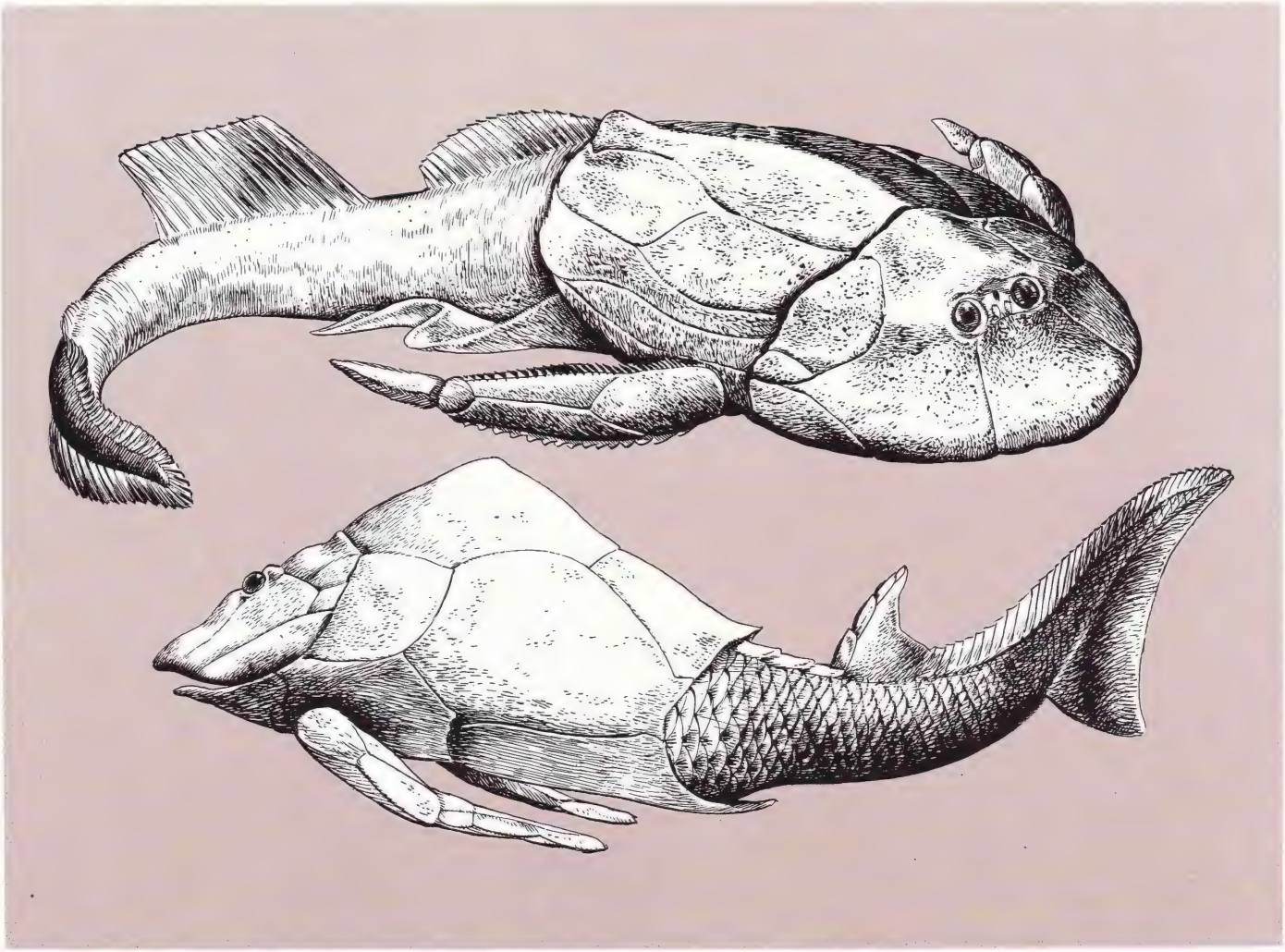
Die Kiemenbögen, die auf diese Weise zum Kiefer wurden, bedeuteten einen Evolutionsvorteil im Hinblick auf die Entwicklung anderer Teile des Außenskeletts; es bildeten sich nämlich die ersten Zähne. Natürlich dauerten diese Evolutionsprozesse Millionen von Jahren und durchliefen unzählige Generationen. Die verschiedenen Einzelphasen dieser langfristigen Entwicklung lassen sich leider nicht durch fossile Funde rekonstruieren, weil so wenige von ihnen existieren. Von Zeit zu Zeit findet man allerdings Überreste der entsprechenden Fische, in denen die großen Umrisse dieses Evolutionsschritts sichtbar werden.

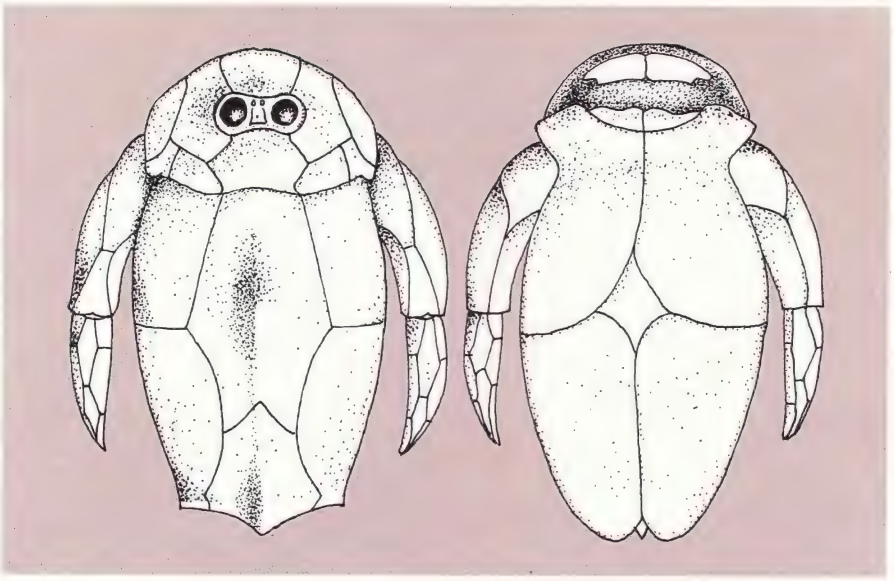
Panzerfische, die seltsamsten Fische der Schöpfung

Die Plakodermen, die aus Agnathen hervorgegangen sind, erschienen auf der Bühne des Lebens gegen Ende des Silurs. Im Devon breiteten sie sich rapid aus. Mit ihrem Panzer und den beweglichen Kiefern waren sie den Agnathen überlegen, als sie in deren Reviere eindrangen. Der bekannteste Vertreter der Panzerfische war *Pterichthyodes,* etwa 20 cm lang und sehr seltsam geformt. Als er erstmals in den schottischen Oldredschichten als Fossil gefunden wurde, löste er große Verwunderung aus. Seine Gestalt erinnert sowohl an einen Fisch als auch an ein Krustentier. Seine Vorderflossen glichen den Scheren eines Krebses.

In mancherlei Hinsicht ähnelte der Pterichthyodes den primitiveren Zephalaspidomorphen. Er besaß einen gepanzerten Kopf und Körper, einen frei beweglichen Schwanz mit gerader, heterozerker Flosse. Seine Augen lagen nahe beieinander, in der Nähe der Kopfspitze, sein Maul lag auf der Bauchseite. Sein Panzer bestand aus einzelnen miteinander verbundenen Schuppen. Aus seinem Panzer ragten zwei gegliederte Strukturen heraus, die die Wissenschaftler anfangs sehr verblüfften. Mit Hilfe dieser rätselhaften Körperteile, die sonst bei keinem Wirbeltier vorkommen (außer natürlich bei den nahen Verwandten des Pterich-

Darstellung eines Bothriolepis (oben), etwa 20 cm lang, und eines Pterichthyodes, etwa 15 cm lang. Beide stammen aus dem Devon und gehören der Gruppe der Plakodermen an.





Panzerung des Pterichthyodes, von hinten und von vorn gesehen. Die seltsam gegliederten Gliedmaßen verliehen diesem Lebewesen das Aussehen eines Krustentiers.

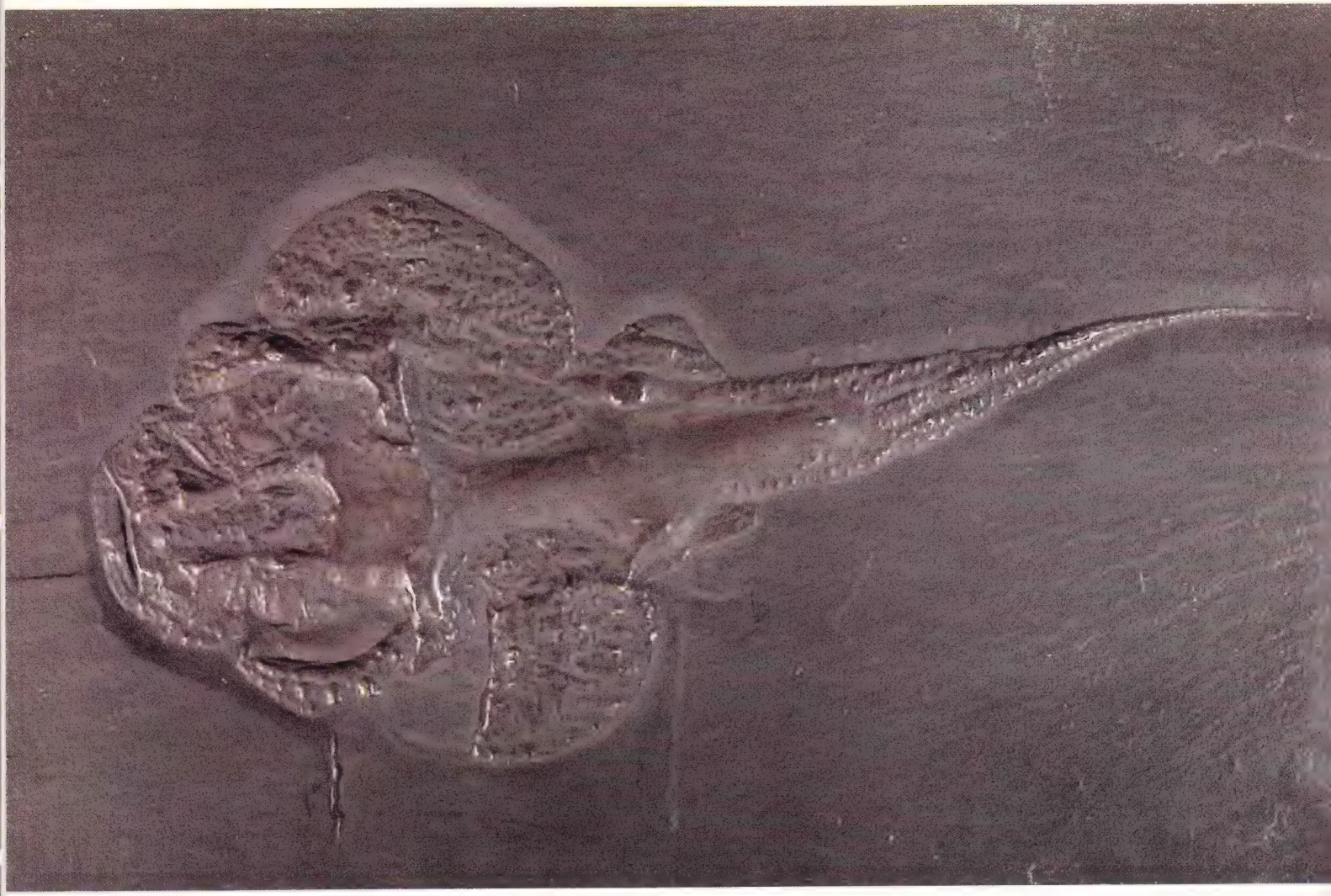
thyodes), konnte sich der Pterichthyodes an den Algen auf dem Meeres- oder Flußgrund, wohin die Flut ihn gerade trug, festhaken.

Der Pterichthyodes war eigentlich ein Tiefseeorganismus genau wie Cephalaspis, demgegenüber er jedoch durch sein gegliedertes Maul im Vorteil war. Ein ähnliches Wesen war der *Bothriolepis.* Er hatte etwa die gleiche Länge und war über die ganze Erde verbreitet (Fossilienfunde u. a. aus Kanada, Schottland und Rußland und der Antarktis). Eine solche weltweite Verbreitung läßt vermuten, daß auch die Vertreter dieser Gruppe, ebenso wie die Agnathen, sich in dem zwischen dem nördlichen und südlichen Kontinent gelegenen Ozean fortpflanzten und daß die Jungen dann den Weg zurück zu ihren Heimatflüssen finden mußten.

Arthrodiren, die Riesen unter den Raubfischen

Sowohl Pterichthyodes als auch Bothriolepis gehören zur Unterklasse *Antiarcha.* Weniger auffällig waren die Vertreter einer anderen Unterklasse, der *Rhenaniden,* die unseren heutigen Fischen ähnelten. Ihr Panzer war, genau wie beim Thelodus, einem Vertreter der Agnathen, schon in einzelne kleine Schuppen umgebildet, die den ganzen Körper bedeckten. Unter ihnen war die Gattung *Gemuendina* am bekanntesten (gut erhaltene vollständige Abdrücke aus dem unteren Devon in Deutschland).

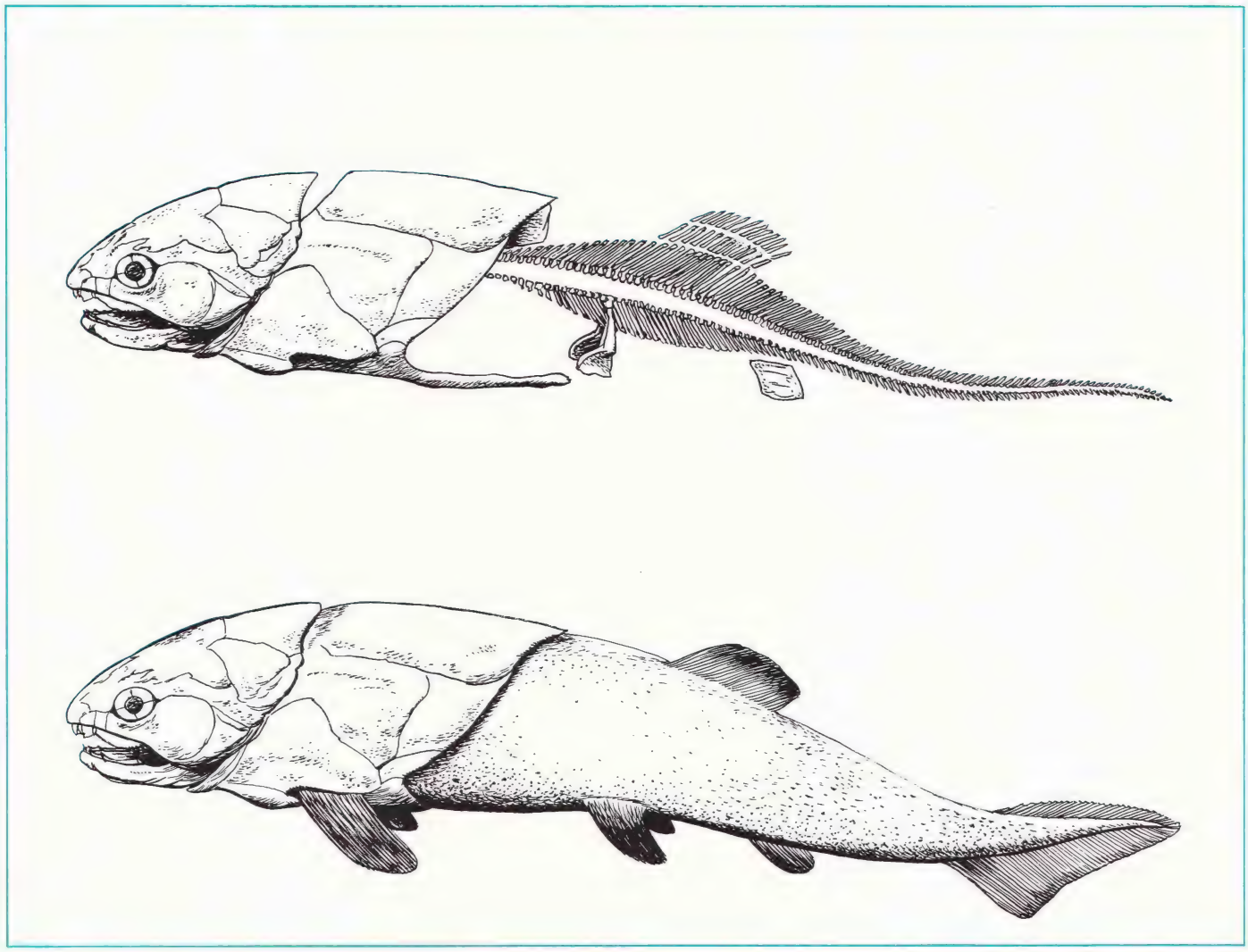
Eine dritte Unterklasse der Panzerfische war die der *Arthrodiren.* Diese entwickelten sich später als die beiden zuvor erwähnten und stellten die absolute Spitze unter den Plakodermen dar. Bei ihnen bestand der Panzer weder aus einzelnen Teilen, noch war er harnischartig wie beim Pterichthyodes. Zwar stellte der Panzer einen wirkungsvollen Schutz für den Kopf und einen Teil des Körpers dar, er war jedoch gleichwohl im Bereich des Nackens stark gegliedert. So verband sich Schutz durch Panzerung mit einem bis dahin nie erreichten hohen Maß an Beweglichkeit, ein Evolutionsfortschritt, der die Arthrodiren für eine gewisse Zeit im oberen Devon zu Alleinherrschern des Wassers werden ließ.



Versteinerung der Gemuendina, eines Panzerfischs, der der Erscheinung nach einem Rochen ähnelte. Diese Versteinerung wurde in Schichtungen aus dem unteren Devon in Deutschland gefunden.

Obwohl ihre Gruppe hauptsächlich in Lagunen und brackigem Wasser zu Hause war, waren die Arthrodiren zugleich diejenigen, die eine allgemeine Bewegung in Richtung auf das Meer einleiteten. Ihre Überreste wurden fast überall gefunden, u. a. in Nordamerika, England, Mitteleuropa, Rußland und Australien. Durch ihre beweglichen Kiefer wurden sie zu Raubtieren. Sie waren häufig durch massive, scharfe Knochenplatten geschützt und überwältigten die Eurypteriden (die vor ihnen die alles beherrschenden Raubtiere waren), indem sie immer weiter wuchsen, bis sie die Skorpione an Größe übertroffen hatten; manche Exemplare wurden bis 8 m lang. Die Balance, die einst zwischen Agnathen und Seeskorpionen bestanden hatte, wurde jetzt zum Nachteil beider für immer zerstört, da die Arthrodiren sowohl die Seeskorpione als auch die Agnathen jagten.

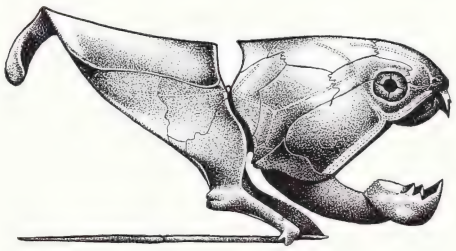
Der bekannteste aller Arthrodiren ist der *Coccosteus,* ein kräftiger Fisch von etwa 45 cm Länge, der über den ganzen nordatlantischen Kontinent verbreitet war. Er besaß wie die heutigen Fische eine hydrodynamische Form. Nach den ersten Funden im Oldred glaubte



man lange Zeit, daß der Coccosteus der prominenteste Vertreter der Plakodermen gewesen sei; dies war jedoch nicht der Fall: Bei Ausgrabungen in Schichtungen aus dem oberen Devon in Ohio fand man Fragmente gewaltiger Panzer. Sie schienen irgendwelchen furchteinflößenden Wesen zu gehören und sahen eher aus wie die Rüstung der bösen Riesen aus den Märchen als wie Überreste von Fischen. Die Wissenschaftler, die sie entdeckten, nannten dieses riesige Tier aus grauer Vorzeit *Dinichthys* oder *Schreckensfisch*. Von diesem ca. 8 m langen Fisch sind jedoch nur der Panzer und die aufklappbare Mundstruktur bekannt. Die Kiefer wiesen kräftige, scharfe Knochenplatten auf, die zweifellos sogar die größten Seeskorpione, die ihren Lebensraum bevölkerten, mühelos zermalmen konnten. Man nimmt jedoch an, daß der Körper selbst schmal und torpedoförmig war.

Mit diesen und ähnlichen Monstern, die sich in Amerika und Europa ausbreiteten, erschienen einige der größten und räuberischsten Wirbeltiere aller Zeiten auf der Bühne des Lebens. Sie übertrafen sogar die Riesennautiloideen des Ordoviziums. Jetzt bildeten sie und nicht mehr

Skelett und Panzer eines Coccosteus (oben); unten: Rekonstruktion des Coccosteus. Dieser Panzerfisch war seinem Aussehen nach „modern": Er hatte eine hydrodynamische Form.



Oben: Leerer Panzer des Dinichthys, eines furchteinflößenden Raubfischs aus dem Devon von einer Länge bis 8 m. Seine fossilen Überreste wurden in Ohio gefunden.

Ein Dinichthys auf der Jagd bei der Verfolgung einer Gruppe urtümlicher Haie der Gattung Cladoselache. Kein Lebewesen konnte sich im Devon mit dem Dinichthys messen. Er verfügte über furchteinflößende Zähne und war von gewaltiger Größe.

die Gliederfüßer das letzte Glied in der Nahrungskette. Die Rolle der Gliederfüßer übernahmen der Dinichthys, der Titanichthys und andere ähnliche Geschöpfe. Die Wirbeltiere beherrschten ihre Umwelt; sie hatten ihren ersten großen Sieg errungen.

Der Mörderwal ist ein gefährlicher Raubfisch unserer Zeit und dem Dinichthys des Devons durchaus vergleichbar. Im Unterschied zu seinem urtümlichen Ebenbild ist der Mörderwal jedoch kein Fisch, sondern ein Säugetier.

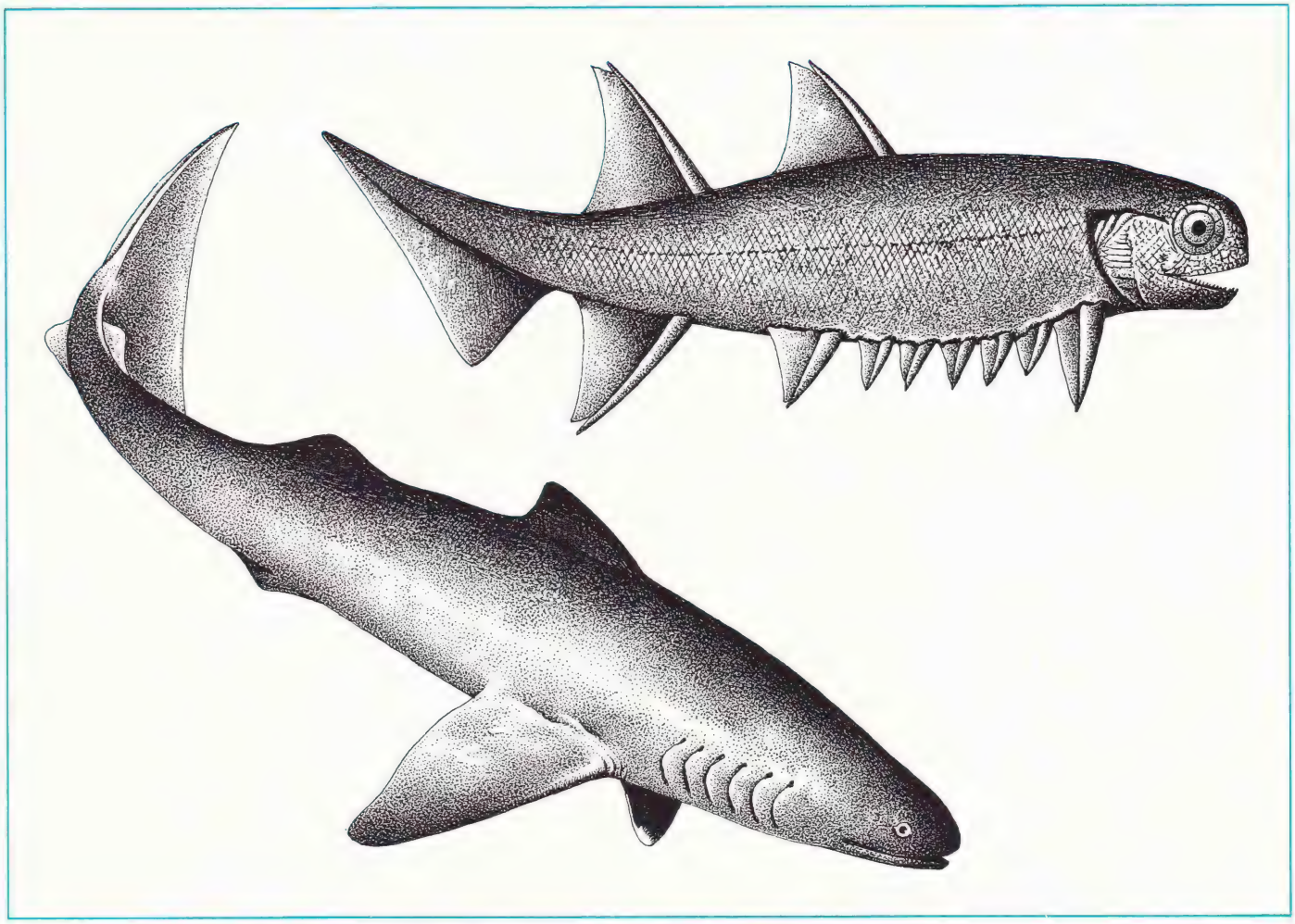
Der Entwicklungsschritt vom Fisch zum Amphibium

Der glorreiche Lenz der Fische

Die Entwicklung eines aufklappbaren Mauls förderte nicht nur die Entwicklung der Riesenfische. Sie leitete auch eine explosionsartige Entwicklung aller noch heute lebenden Fischgruppen ein. In jenen Urgewässern tummelten sich die Vorfahren der Haie, der Rochen, der Störe, der Lachse und der Thunfische. Für die Vielfalt von Fischen, von denen es überall nur so wimmelte, war dies wirklich ein herrlicher Lenz. Sie hatten keine Konkurrenten mehr auf einer höheren Sprosse der Evolutionsleiter zu fürchten, die ihnen das Leben in ihrem Biotop hätten schwermachen können.

Kleine Fische mit modifiziertem Schuppenpanzer, gegliedertem Maul, Zähnen und zum Teil verknöchertem Skelett waren schon am Ende des Silurs in den Flüssen und Strömen des Oldreds verhältnismäßig stark vertreten. Wenn wir bedenken, daß diese Fische ein „moderneres" Skelett besaßen als die heutigen Knorpelfische, können wir nur staunend von einer Evolutionsexplosion sprechen. Diese setzte bereits im Silur ein, zu einer Zeit also, in der es aussah, als sollten die Agnathen die Welt beherrschen. Die kleinen Fische, von denen nur Fragmente in den silurischen Schichtungen gefunden wurden, hatten ihren Höhepunkt im Devon. Einer ihrer typischen Vertreter war der *Climatius* des unteren Devons. Er maß 7–8 cm, hatte einen geraden, heterozerken Schwanz und zahlreiche Flossen, die von langen Knochen gehalten wurden.

Der Climatius und seine größeren Nachfolger gehörten zur mittlerweile ausgestorbenen Gruppe der *Stachelhaie (Akanthoden),* deren meiste Mitglieder uns unbekannt sind. Sie muß sich sehr früh von den Plakodermen getrennt und sich rapid weiterentwickelt haben. Früher wurden die Stachelhaie durchweg als Plakodermen klassifiziert; heute weiß man jedoch, daß es sich um Knochenfische (Osteichthyes) handelte. Sie waren bereits vor dem Ende des Paläozoikums von der Lebensbühne verschwunden und erlitten damit ein ähnliches Schicksal wie die früher erwähnte Baragwanathia, eine silurische Pflanze, die höchstentwickelte Eigenschaften besaß, aber gleichwohl völlig verschwand, ohne Nachfolger zu hinterlassen.



Knorpel- und Knochenfische

Die sich langsamer entwickelnden Arten führten zur Entstehung des *Urhais,* der einige erstaunliche Ähnlichkeiten mit dem heutigen Hai wie auch mit vielen anderen Fischen aufweist, die mit den heutigen Knochenfischen verwandt sind. Rufen wir uns ins Gedächtnis, daß es zwei große Fischklassen gibt: die Knorpelfische und die Knochenfische, die ersteren ohne Verknöcherung, weder im Skelett noch in den Außenteilen, die letzteren mit gut entwickelter Knochenstruktur, heute jedoch ohne Panzer. (Im Laufe der Evolution hatte die Natur den schweren Panzer völlig aufgegeben; jetzt war Beweglichkeit das wichtigste.)

Die Vertreter der Gattung *Cladoselache,* schlanke Raubtiere, ca. 1,20 m lang, waren typische *Knorpelfische (Chondrichthyes)* des Devons. Dank reicher Fossilienfunde sind sie uns gut bekannt; in Cleveland (Ohio) fand man in Schichtungen feinkörnigen, schwarzen Lehms vollständige Abdrücke ihres zierlichen Körpers; sogar Teile der Muskelstränge sind zu erkennen. Heute würden wir diesen Fisch einen *Hai* nennen; jedenfalls läßt eine Rekonstruktion seines Körpers diesen Schluß zu. Eine Zeitlang interessierte man sich besonders für die Flossen dieser Fische, die einen auffällig breiten Ansatz hatten. Später

Rekonstruktion des Climatius (oben; etwa 7–8 cm lang), eines kleinen Fischs mit zahlreichen durch Knochen gestützten Flossen. Er zeigte schon Merkmale der Knochenfische. Unten: der schlanke Cladoselache (etwa 120 cm lang), ein devonischer Hai.

Gruppe von Knochenfischen heute. Die ersten Knochenfische aus dem oberen Silur und dem Devon leiteten eine außerordentliche Entwicklung ein, die diese Gruppe von Lebewesen zur Blüte führte. Heute gibt es keine Wirbeltiergruppe, die die Knochenfische an Verbreitung und Vielgestaltigkeit übertrifft.

entdeckte man, daß die Flossen lediglich die Überreste von Membranfalten darstellten, die bei den Vorfahren dieses primitiven Hais den ganzen Körper entlangliefen.

Knochenfische (Osteichthyes) gab es bereits im unteren Devon. Entfernte Verwandte von ihnen existieren noch heute. Die so überaus zukunftsträchtige Entwicklung der Knochenfische hatte begonnen. Zur Zeit gibt es unter ihnen mehr Arten als unter allen anderen Wirbeltieren zusammen. Die Knochenfische sind den anderen Fischen zahlenmäßig (etwa im Verhältnis 20 : 1) überlegen. Ihr Stern ging im Devon auf, und ihr Aufschwung verlief parallel zum Niedergang und schließlichen Untergang der Plakodermen. Zwar hatten die gepanzerten Riesen wie der Dinichthys scheinbar keine Konkurrenz, aber schließlich schafften es die entwickelteren, beweglicheren Knochenfische (zusammen mit den ersten Haien) doch, die bestehende ökologische Balance zu ihren Gunsten zu verändern. Dies zeigt, welche außerordentlichen Umwälzungen stattfinden, wenn neue, leistungsfähige Organismen in bestehenden Ökosystemen auftauchen. Die Abenteuer der devonischen Fische sind in dieser Hinsicht höchst aufschlußreich: Wurde zunächst den Agnathen die Vorherrschaft durch die Plakodermen streitig gemacht

und schließlich abgerungen, so ist nun der Augenblick gekommen, in dem die Plakodermen selbst einer höher entwickelten Gruppe weichen müssen.

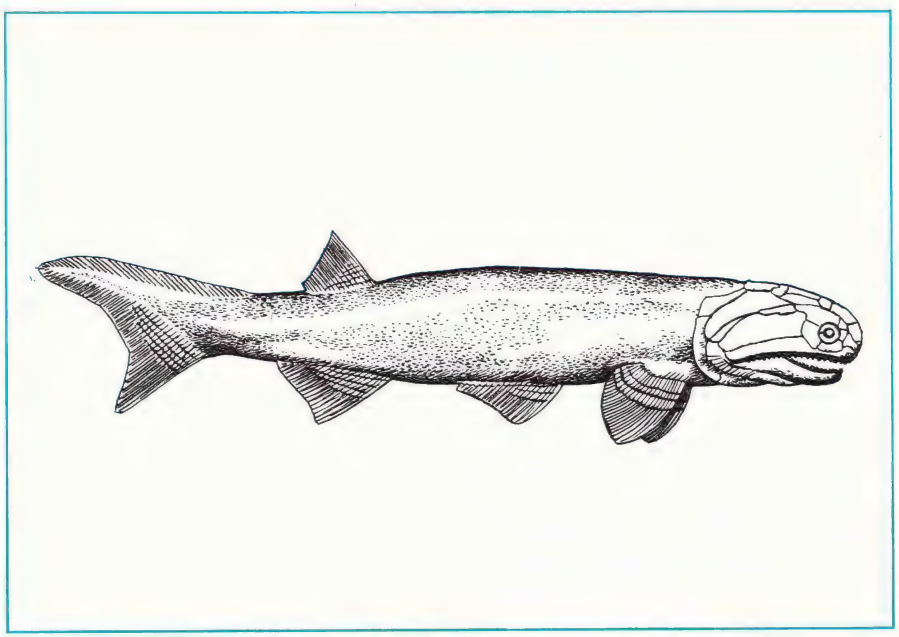
Die seltsame Geschichte der Lungenfische

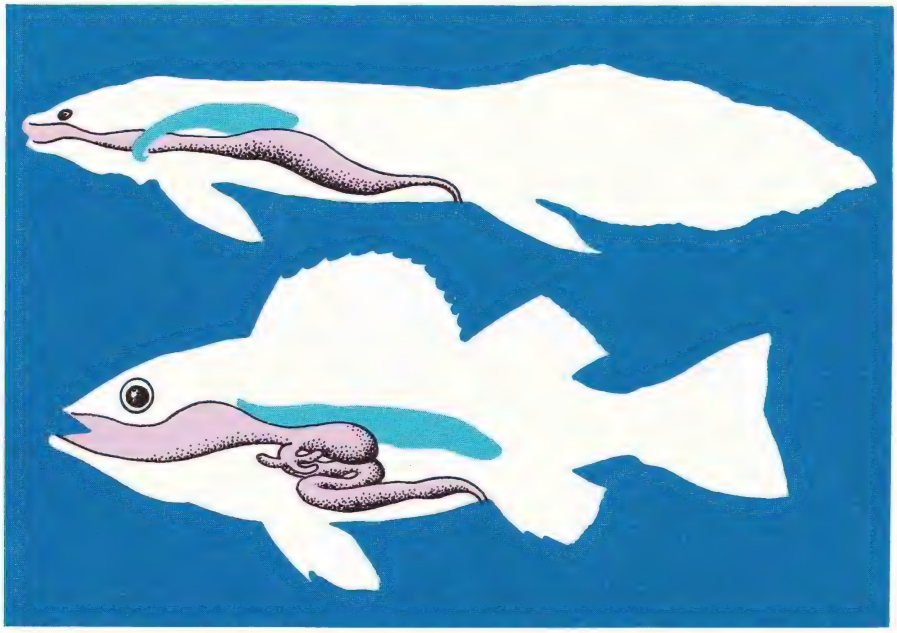
Die meisten der uns bekannten Fische – angefangen vom Goldfisch in seinem Glas bis hin zu den geheimnisvollen Tiefseebewohnern – dürften einen gemeinsamen Vorfahren in dem zu den Strahlenflossern gehörenden *Cheirolepis* des oberen Devons besitzen. Dieses Lebewesen bewohnte die überall über die versengte Erde des Oldreds verstreuten Teiche. Knapp 30 cm lang, sah der Cheirolepis verhältnismäßig „modern" aus. Nur sein heterozerker Schwanz, der heute bei den Knochenfischen nicht mehr vorkommt, gab ihm ein etwas urtümliches Aussehen. Seine Nachfahren bevölkern, wie gesagt, heute alle Meere und Flüsse der Erde.

Auch andere Mitglieder der Knochenfischklasse spielten, obwohl sie nur relativ bescheidene Familien gründeten, in der Geschichte des Lebens eine bedeutsame Rolle. Es waren die Knochenfische des unteren Devons. Ihr Auftreten verwandelte die Erde auf eine einmalige Weise; denn mit ihnen machte die Natur einen ersten Versuch, Fische für das Leben an Land auszurüsten. Wir erleben jetzt die Fische in der gleichen Situation, in der sich, wie wir früher bereits dargestellt haben, auch die Pflanzen und die Gliederfüßer befunden hatten: den Übergang vom Wasser auf das feste Land zu vollziehen. Wie schon die Gliederfüßer vor ihnen mußten die Fische dazu zunächst lernen, Sauerstoff aus der Atmosphäre aufzunehmen.

Um dies begreifen und verfolgen zu können, sind wir nicht auf Fossilien angewiesen. Wir können dieses Phänomen an einer Gruppe rezenter Fische unmittelbar studieren. Es handelt sich um Fische aus der Ordnung der *Lungenfische (Dipnoi)*. Das aus griechischen Wortelementen gebildete Wort „Dipnoi" bedeutet etwa „mit zwei Atmungs-

Der Cheirolepis, ein devonischer Fisch, ungefähr 30 cm lang. Er gilt als Vorfahr der meisten Knochenfische von heute.





Oben: Der Afrikanische Lungenfisch der Gattung Protopterus. Er überdauert Trockenperioden in einer selbstgebauten, schleimtapezierten Kapsel aus getrocknetem Lehm. Dabei bleibt er mit der Außenwelt in Verbindung durch eine enge Öffnung, die ihm genügend Atemluft sichert.

Links: Vergleich zwischen der Schwimmblase eines typischen Knochenfischs von heute (unten) und der Lunge eines Lungenfischs, Neoceratodus (oben). Der Verdauungstrakt ist rosa gefärbt; Schwimmblase und Lunge sind blau getönt. Beide Organe entsprechen einander.

Rechte Seite oben: Der Neoceratodus bewegt sich über den Sumpfboden und benutzt dabei seine Brust- und Bauchflossen, als wären sie richtige Füße.

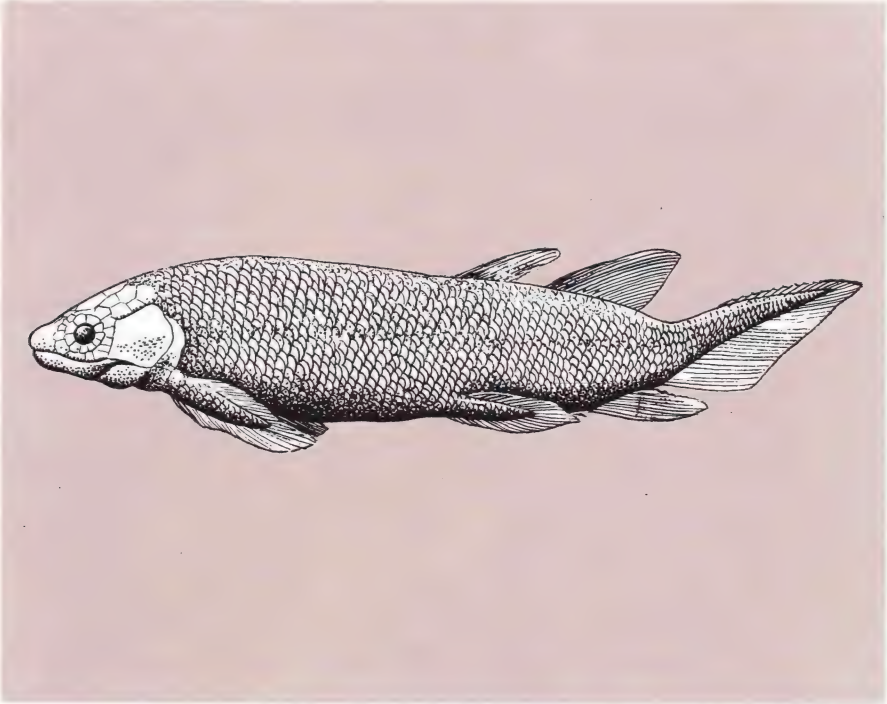
einrichtungen". Dies ist eine treffende Bezeichnung, da die Lungenfische tatsächlich zwei Atmungsmöglichkeiten haben: Sie können sowohl mit Kiemen als auch mit Lungen atmen. Ihre Umwelt entspricht der der devonischen Fische im Oldred: Sumpfgelände in einem sehr heißen Gebiet. Das Wasser dort enthält wenig Sauerstoff und verdunstet häufig total. Für den normalen Fisch ist eine solche Umgebung tödlich. Die Dipnoi jedoch können sowohl die Sauerstoffarmut als auch das allmähliche Austrocknen ihrer Gewässer überstehen, und zwar dank der Fähigkeit, mit ihren Lungen den atmosphärischen Sauerstoff der Luft zu nutzen.

Gewöhnliche Knochenfische besitzen ganz allgemein über ihrem Schlund einen luftgefüllten Membransack, die sog. *Schwimmblase,* die es ihnen ermöglicht, ihr spezifisches Gewicht jeweils auf diejenige Meerestiefe einzustellen, in der sie sich gerade befinden, und sich ohne zusätzliche eigene Bemühung auf dieser Höhe zu halten. Bei den Dipnoi nun ist die „Schwimmblase" noch eine leistungsfähige Lunge. Ihre hydrostatische Funktion ist noch unentwickelt (sie wird im Sumpfgelände oder im Teich nicht benötigt). Die Wände des Lungenorgans sind zu diesem Zweck mit Alveolen oder Bläschen bedeckt; außerdem sind reichlich Blutgefäße vorhanden. Das Lungenorgan der Dipnoi mündet in den Schlund, durch den die Luft eintritt. Der Gasaustausch findet in den Alveolen statt, genau wie bei den Alveolen in der Lunge des Menschen.

Die Dipnoi von gestern und heute

Heute gibt es nur noch wenige Vertreter der Lungenfische: Die Gattung Protopterus in Zentralafrika, der zu den Lepidosiren gehörende Schuppenmolch in Brasilien und die Gattung Neoceratodus (mit dem Djelleh) in Australien. *Protopterus* wird durch einen robusten, schlangenförmi-

Rekonstruktion eines devonischen Lungenfischs (Dipterus). Er ähnelt ganz offensichtlich dem heutigen Neoceratodus.

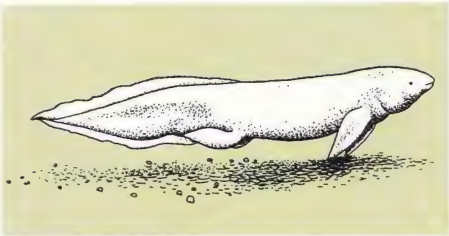


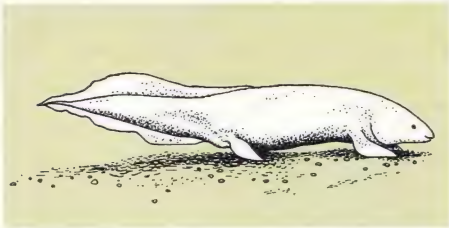
Rechte Seite unten: Der Australische Lungenfisch (Djelleh). Seine Brust- und Bauchflossen haben eine entfernte Ähnlichkeit mit kleinen Füßen.

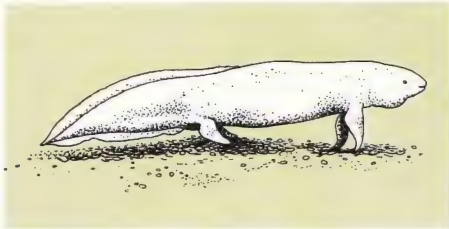
gen Raubfisch repräsentiert, der bis etwa 1,50 m lang werden kann und zeitweilig erstaunliche Verhaltensweisen an den Tag legt. Wenn nämlich während einer Dürreperiode die Sümpfe, in denen er lebt, austrocknen, fällt der Protopterus, zusammengekrümmt in einer Kapsel aus hartem Lehm verharrend, in einen komaähnlichen Zustand. Beim ersten Zeichen einer sich anbahnenden Trockenzeit gräbt er sich in den Schlamm ein und bereitet seine Schlafkammer vor. Eine Schleimschicht schützt ihn vor dem Austrocknen. Seine Atemluft holt er sich durch eine enge, tunnelähnliche Öffnung, die ihn mit der Außenwelt verbindet. In seiner Schlafkammer schlägt er den Schwanz über den Kopf und erstarrt im Tiefschlaf.

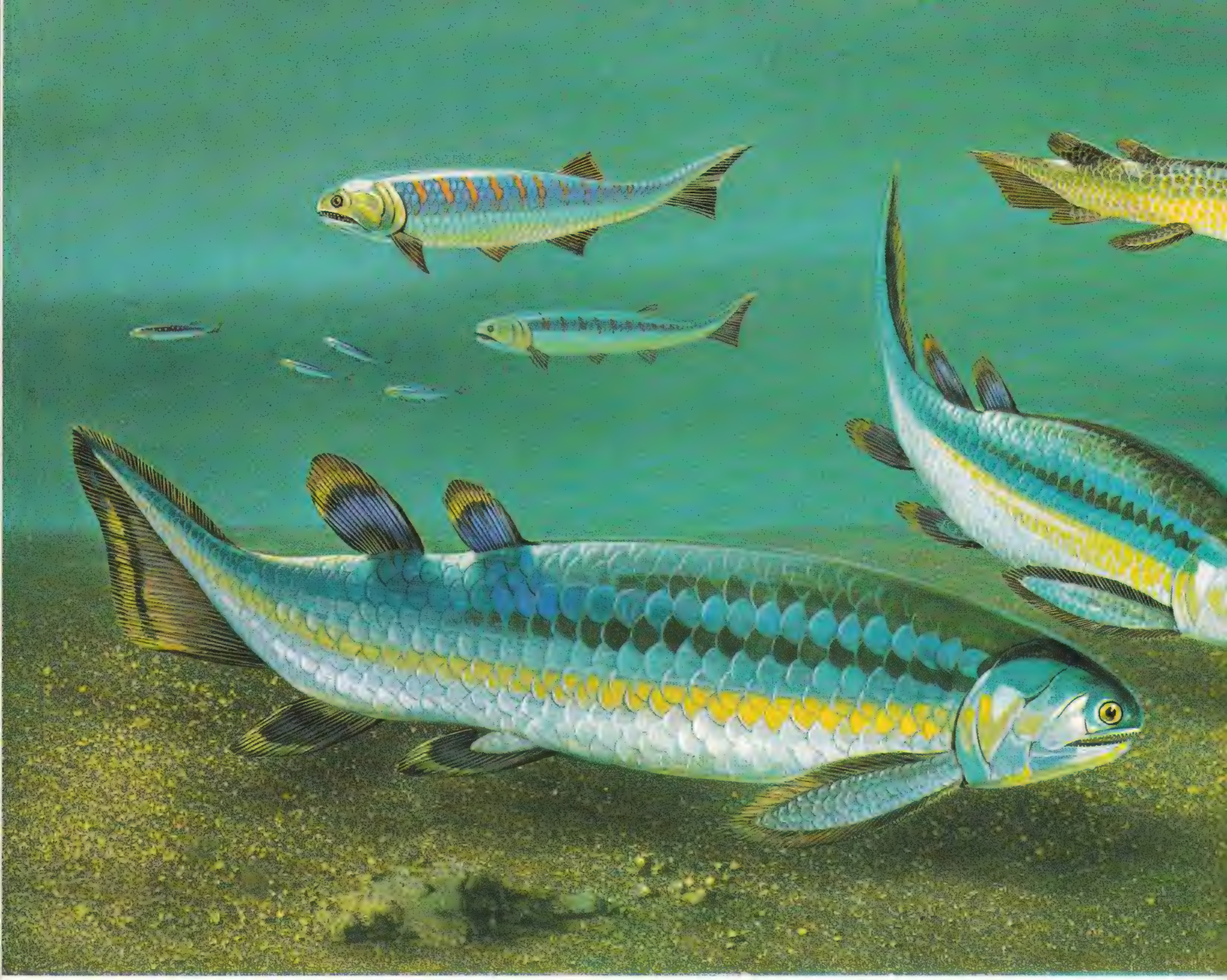
Dieses Schutzsystem wurde von manchen Dipnoi bereits im Devon angewendet. Es scheint fast unglaublich, aber in manchen devonischen Schichtungen wurden Matschklumpen gefunden, die über Jahrmillionen zu hartem Stein geworden sind und Dipnoifossilien enthalten. Solche Fossilienkapseln unterstreichen natürlich auch die Tatsache, daß die Dipnoi keine Überlebenschance haben, wenn das Wasser nicht nach einer gewissen Zeit wieder zurückkehrt.

Der Protopterus und der Schuppenmolch haben vier Flossen, die heute nichts weiter als dünne, nutzlose Anhängsel sind. Beim *Djelleh* (Gattung *Neoceratodus*) dagegen sind sie noch so kräftig ausgebildet, daß er sie als Füße benutzt. Es ist recht interessant, diese seltsamen gliedmaßenähnlichen Flossen mit den Flossen eines gewöhnlichen Knochenfisches zu vergleichen. Man betrachte z. B. die Flossen eines Lachses: Sie bestehen aus Haut, die über eine Anzahl von knöchernen „Flossenstrahlen" gespannt ist, welche einem Fächer gleichen. Beim Djelleh jedoch werden die Flossen durch einen langen, gegliederten Skelettstab gestützt, an dem wie die Strahlen einer Feder auf zwei Seiten schräg abstehende Skelettstücke ansetzen können.





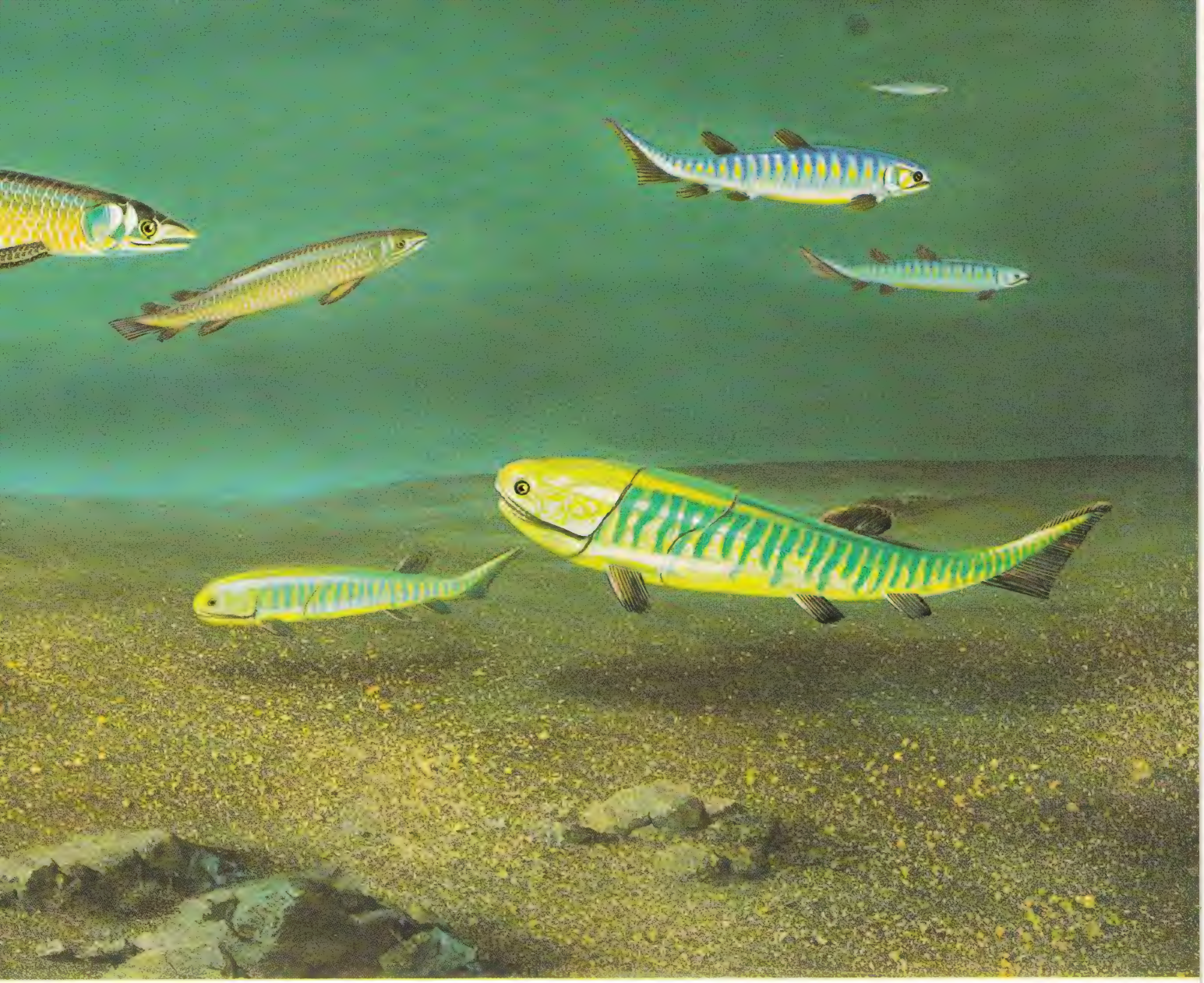




Unterwasserszene in einem devonischen Sumpf im Bereich des Oldreds. Von oben links: Cheirolepis, einige Vertreter von Dipterus, Osteolepis, einige Vertreter von Holoptychius und Coccosteus.

Der Djelleh sieht so aus, als habe er vier kleine, nicht untergliederte Füße ohne Zehen. Dies erinnert uns an seine entfernte Verwandtschaft mit vierbeinigen Tieren, die auf dem Lande leben. Auf der Suche nach Wasser schleppt sich der Djelleh durch die Sümpfe Queenslands, indem er seine Flossen als Beinchen benutzt. Sein bis ca. 2 m langer Körper ist von großen, glänzenden Schuppen bedeckt. Er ist symmetrisch gebaut, ohne flossenähnliche Anhänge.

In den nördlichen Gebieten der Erde lebten vor rund 200 Millionen Jahren nahezu gleiche Tiere, Lungenfische aus den Gattungen *Ceratodus* und *Dipterus.* Ihre Vorfahren stammen aus dem unteren Devon (vor 370 Millionen Jahren). Die Vertreter von Dipterus, ca. 35–40 cm lang, waren mit großen, kräftigen Schuppen bedeckt und hatten einen heterozerken Schwanz. In der Gestalt unterschieden sie sich kaum vom Djelleh; sie besaßen wie dieser ebenfalls vier Flossen, die winzigen Füßchen ähnelten. Dipterus lebte in den Gewässern des Oldreds. Er hatte dort, da er sowohl unter Wasser auf dem Teichgrund leben konnte



als auch außerhalb des Wassers die Luft der Atmosphäre einatmen konnte, hervorragende Überlebenschancen.

Von der Lunge zur Schwimmblase

Wir sagten bereits weiter oben, daß der Vorfahr der gewöhnlichen Knochenfische (von denen die meisten mit einer Schwimmblase ausgestattet waren) der im oberen Devon lebende Cheirolepis war. Andererseits wissen wir jetzt, daß schon lange vor dem Erscheinen dieses Tiers – um genau zu sein, viele Jahrmillionen vorher – Fische mit Lungen existierten. Es klingt überraschend, daß die Lungen sich vor der Schwimmblase entwickelt haben sollen. Tatsächlich haben sich aller Wahrscheinlichkeit nach bei verschiedenen Fischen des oberen Silurs durch Ausstülpungen des Vorderdarms sackartige Organe entwickelt, die zur Aufnahme von Sauerstoff aus der Luft geeignet waren. Auch dieser Prozeß setzt unendlich viele allmähliche Umbildungen voraus, bis der entsprechende Evolutionsschritt nach unzähligen Generationen

Beispiel einer Latimeria chalumnae, des einzigen noch heute lebenden Vertreters der Quastenflosser (Crossopterygii). Dieser Fisch wurde erst 1938 entdeckt.

vollzogen war. Schließlich entstanden immer mehr Fische, die dadurch gut an die schwierigen Lebensbedingungen auf dem Oldred-Kontinent angepaßt waren. Als die Fische dann – sehr viel später – in das Meer zurückkehrten, „vergaßen" sie sozusagen, wie man atmosphärische Luft atmet; da sie jetzt ständig von Wasser umgeben waren, hatten sie es einfach nicht mehr nötig, atmosphärische Luft aufzunehmen. Noch heute besitzen Fische Lungen; aber diese Lungen haben sich zu etwas ganz anderem entwickelt – eben zur Schwimmblase.

Die Lebensbedingungen im Oldred wurden in der Tat immer kritischer. Viele Fischarten mußten daher zum Überleben immer bessere und immer wieder neue Anpassungsstrukturen entwickeln. Erinnern wir uns: Sogar Bothriolepis und Pterichthyodes, jene außergewöhnlichen, kleinen Panzerfische mit „Insektenfüßen", besaßen zwei Atmungssäcke. Und nicht nur die Dipnoi, sondern auch andere, höher entwickelte Fische verfügten über Lungen. Zum Beispiel gab es da die *Quastenflosser (Krossopterygier),* eine weitere Ordnung der Knochenfische mit fußähnlichen Flossen, die ebenfalls bald den schwierigen Übergang vom Wasser zum festen Land vollziehen würden. (Seit 1938 konnten durch

einen glücklichen Zufall die letzten Vertreter dieser Gruppe wissenschaftlich identifiziert und klassifiziert werden.)

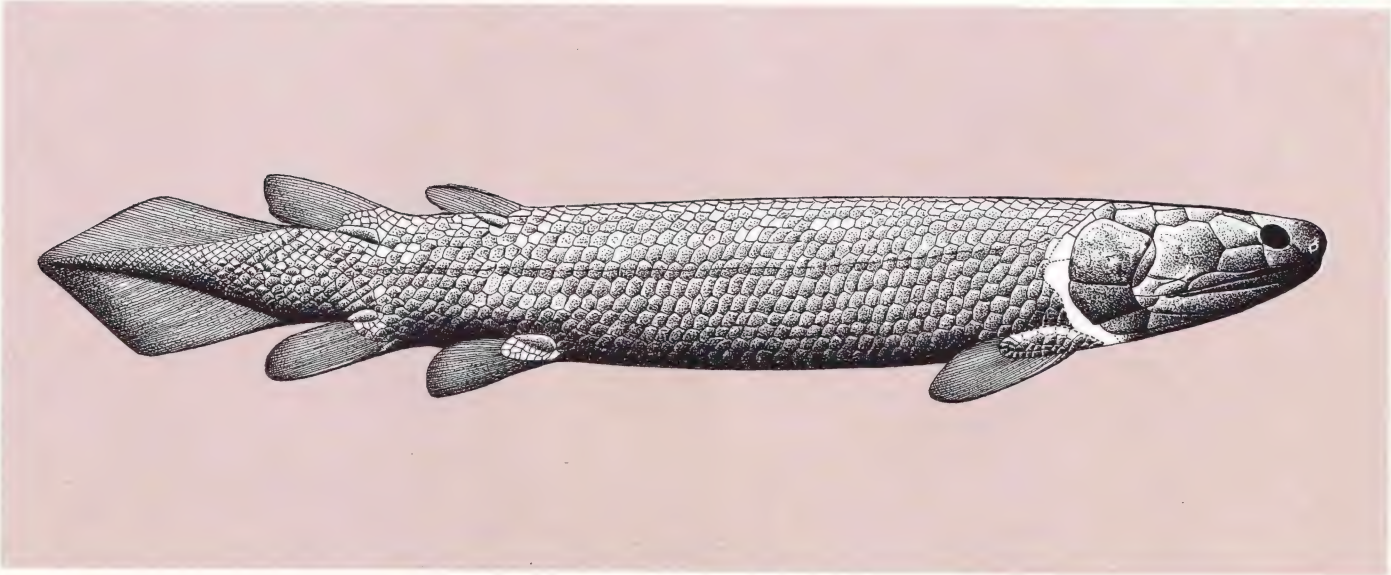
Der Name „Quastenflosser" bezieht sich offenbar auf ein wesentliches Charakteristikum dieser Gruppe. Auch die Lungenfische hatten mehr oder weniger quastenförmige Flossen, und zwar in einem solchen Ausmaß, daß viele Wissenschaftler sie sogar mit den Krossopterygiern in Verbindung brachten. Die echten Quastenflosser haben jedoch ein ganz anders aufgebautes Flossenskelett als die Dipnoi – man könnte geradezu von einer skelettartigen Fußstruktur sprechen. Dies ist einer der Hauptgründe für das große wissenschaftliche Interesse, das man den Krossopterygiern entgegenbringt. Unglücklicherweise war uns bis vor einigen Jahrzehnten kein lebender Vertreter dieser Ordnung bekannt; man glaubte deshalb allgemein, daß die Ordnung seit 70 Millionen Jahren ausgestorben sei.

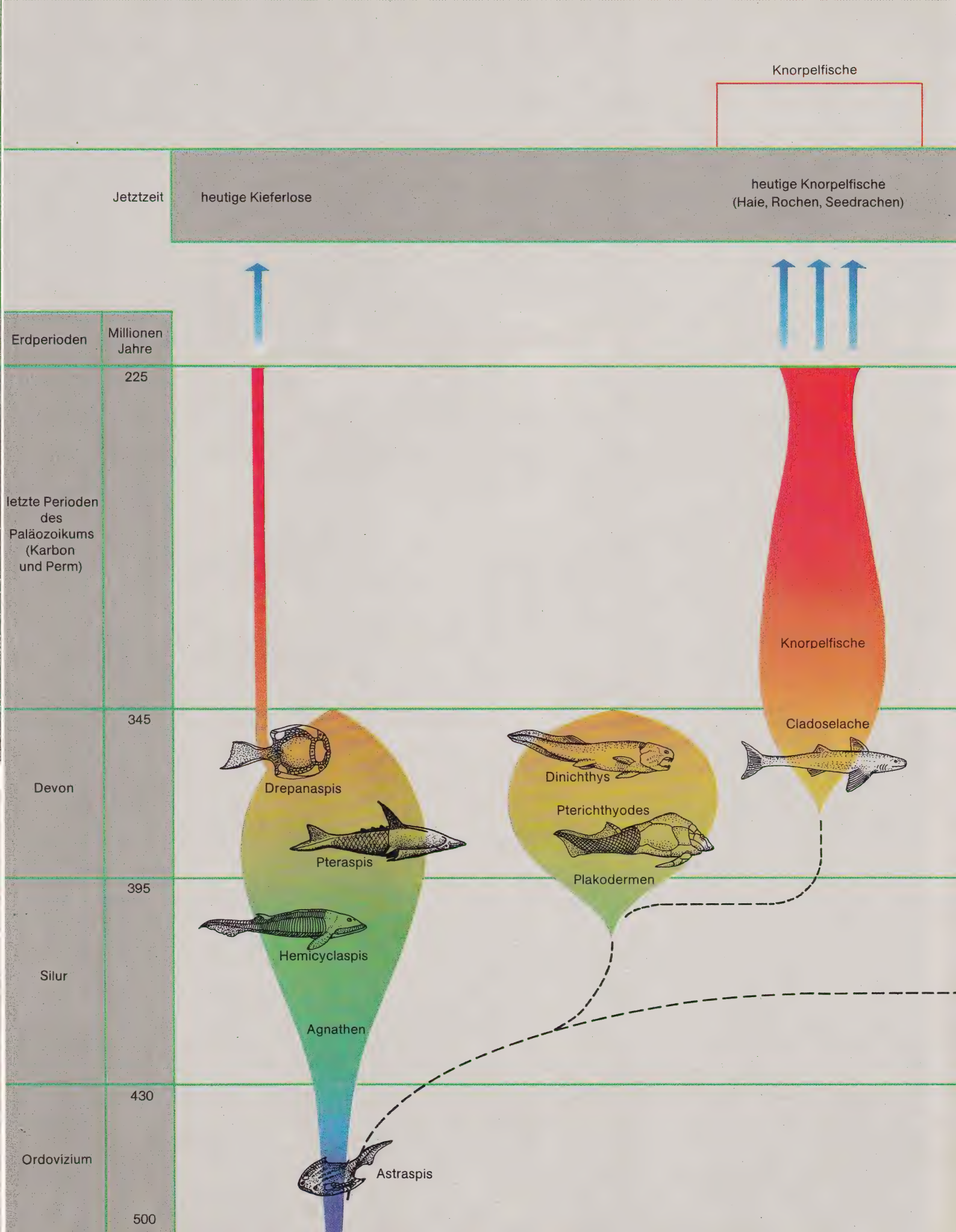
Im Dezember 1938 wurde an der Ostküste Südafrikas bei der Mündung des Chalumna-Flusses ein Fisch von einer Art gefangen, die bis dahin kein Mensch je gesehen hatte. Dieser urtümliche Fisch maß 1,40 m in der Länge. Er war leuchtend blau in der Färbung, war von kräftigen Schuppen bedeckt und besaß Flossen, die richtigen Füßen ähnelten. Er wurde alsbald zum Rhodes University College in Grahamstown in der Provinz Kapstadt gebracht. Zur außerordentlichen Überraschung der Wissenschaftler, die ihn dort untersuchten, stellte sich heraus, daß es sich hier um einen echten Quastenflosser handelte: um einen Quastenflosser gar, der eine verblüffende Ähnlichkeit mit den Quastenflossern des Devons hatte und offenbar zu einer Unterordnung gehörte, die zum ersten Mal gegen Ende des Devons aufgetaucht war, der Unterordnung der *Hohlstachler* (Coelacanthini).

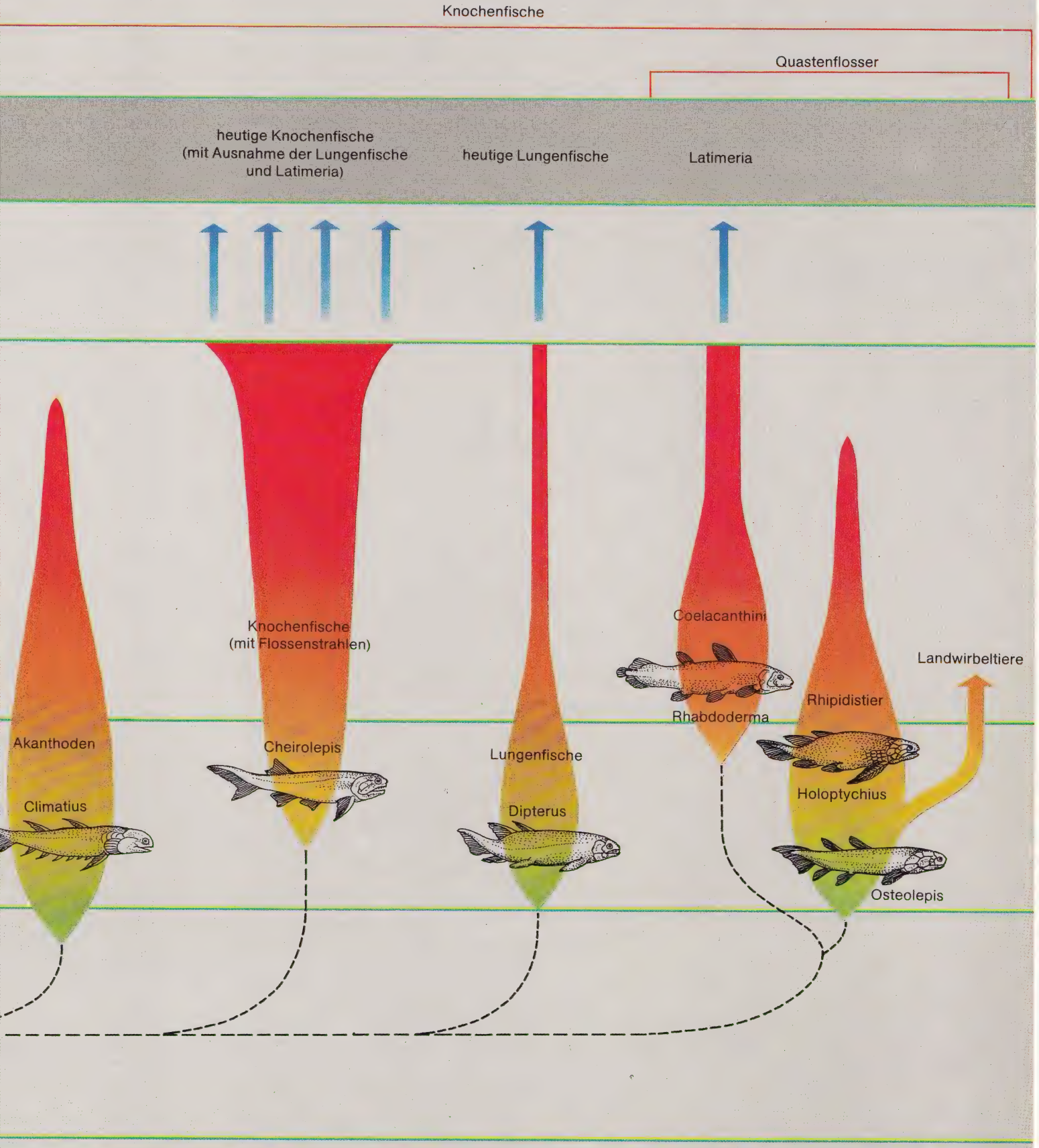
Die Wissenschaftler nannten diesen Quastenflosser zu Ehren der damaligen Kustodin am Museum der südafrikan. Stadt East London, Miss Courtenay-Latimer, *Latimeria chalumnae.* 1972 fand man weitere Exemplare, darunter ein lebendes Weibchen mit Eiern. Endlich vermochte die Wissenschaft durch gründliche Untersuchungen von Latimeria chalumnae Licht in das Dunkel jener seltsamen Übergangsphase

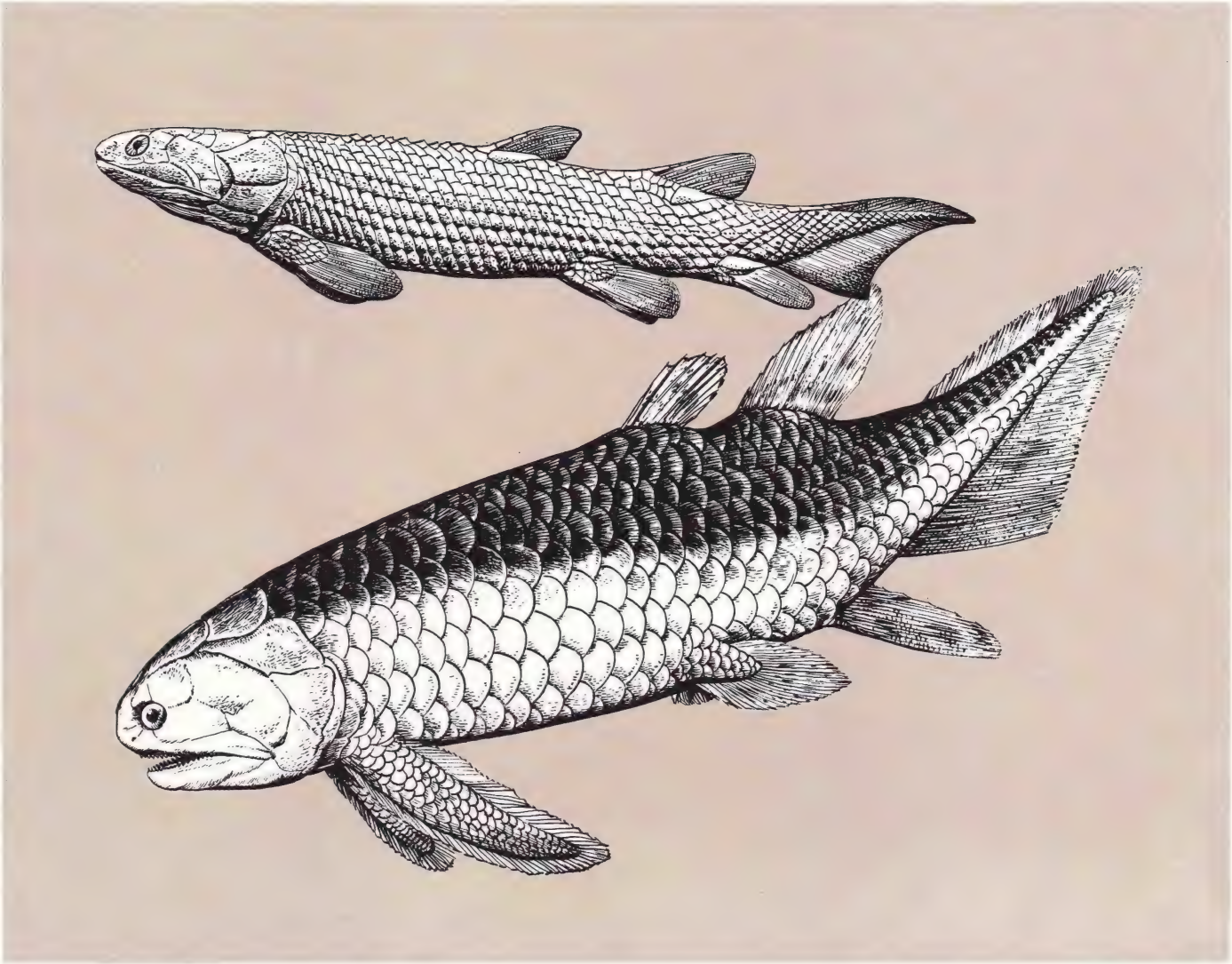
Abbildung auf den beiden folgenden Seiten: Die vielfältige und komplexe Evolution der Fische im Paläozoikum; links ist die zeitliche Reihenfolge vermerkt. Oben: Gruppen zeitgenössischer Fische, die unmittelbar mit bestimmten Verzweigungen des großen Stammbaums zusammenhängen. Eine oder mehrere typische Arten sind in jeder Gruppe enthalten.

Rekonstruktion des Eusthenopteron, eines devonischen Quastenflossers, ungefähr 60 cm lang. Er gehörte zur Unterordnung der Rhipidistier. Eusthenopteron zeigt in vielen anatomischen Details eine enge Verwandschaft mit den Amphibien.




Knorpelfische
Jetztzeit
heutige Kieferlose
heutige Knorpelfische
(Haie, Rochen, Seedrachen)
Erdperioden
Millionen Jahre
225
letzte Perioden des Paläozoikums (Karbon und Perm)
Knorpelfische
345
Devon
Drepanaspis
Dinichthys
Cladoselache
Pterichthyodes
Pteraspis
Plakodermen
395
Silur
Hemicyclaspis
Agnathen
430
Ordovizium
Astraspis
500


Knochenfische
Quastenflosser
heutige Knochenfische
(mit Ausnahme der Lungenfische
und Latimeria)
heutige Lungenfische
Latimeria
Knochenfische
(mit Flossenstrahlen)
Coelacanthini
Landwirbeltiere
Rhipidistier
Rhabdoderma
Akanthoden
Cheirolepis
Lungenfische
Holoptychius
Climatius
Dipterus
Osteolepis

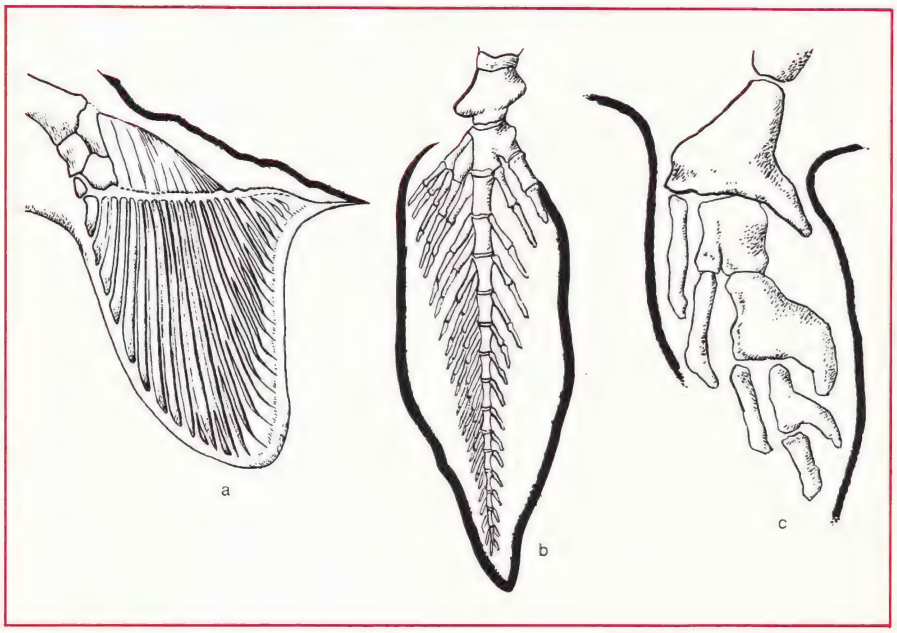


Rekonstruktion von zwei typischen Quastenflossern des Devons. Oben: Osteolepis, etwa 22 cm lang; unten: Holoptychius, ungefähr 75 cm lang. Beachtenswert sind vor allem die mächtig entwickelten Brustflossen des letzteren.

zwischen Fischen und Amphibien zu bringen, die sich im Devon anbahnte. Die Coelacanthini stammen ursprünglich aus den ungastlichen Sumpfgebieten des Devons, ehe sie sich ins Meer begaben und dort in den tiefen Gewässern Sicherheit fanden, in denen man sie noch heute finden kann. Sie „vergaßen" dabei, wie man die Luft der Atmosphäre atmet. Ihre Lungen hörten auf, als Lungen zu fungieren, und wurden wie bei so vielen anderen Fischen zu Schwimmblasen umfunktioniert.

Halb Fisch, halb Lurch

Außer den Lungenfischen gibt es eine ganze Reihe weiterer Fische in der heutigen Welt, welche für kürzere oder längere Zeit von der Luft der Atmosphäre leben können. Eines der bekanntesten Beispiele ist der *Schlammspringer (Periophthalmus),* der im schlammigen Terrain der tropischen Mangrovesümpfe in Asien zeitweilig auf seinen Brustflossen voranhüpft, als seien es Füße. Alle diese Lebewesen sind jedoch im



Struktur der Brustflossen von mehreren charakteristischen Fischen: a parallele Flossenstrahlen von Cladoselache, einem primitiven Hai im Devon; b Skelettstab und die von diesem ausgehende feine Knochenfiederung beim Neoceratodus, einem heutigen Lungenfisch; c die kräftige Knochenbildung von Eusthenopteron, einem devonischen Quastenflosser: Seine Brustflossen erinnern an das Knochengerüst amphibischer Gliedmaßen.

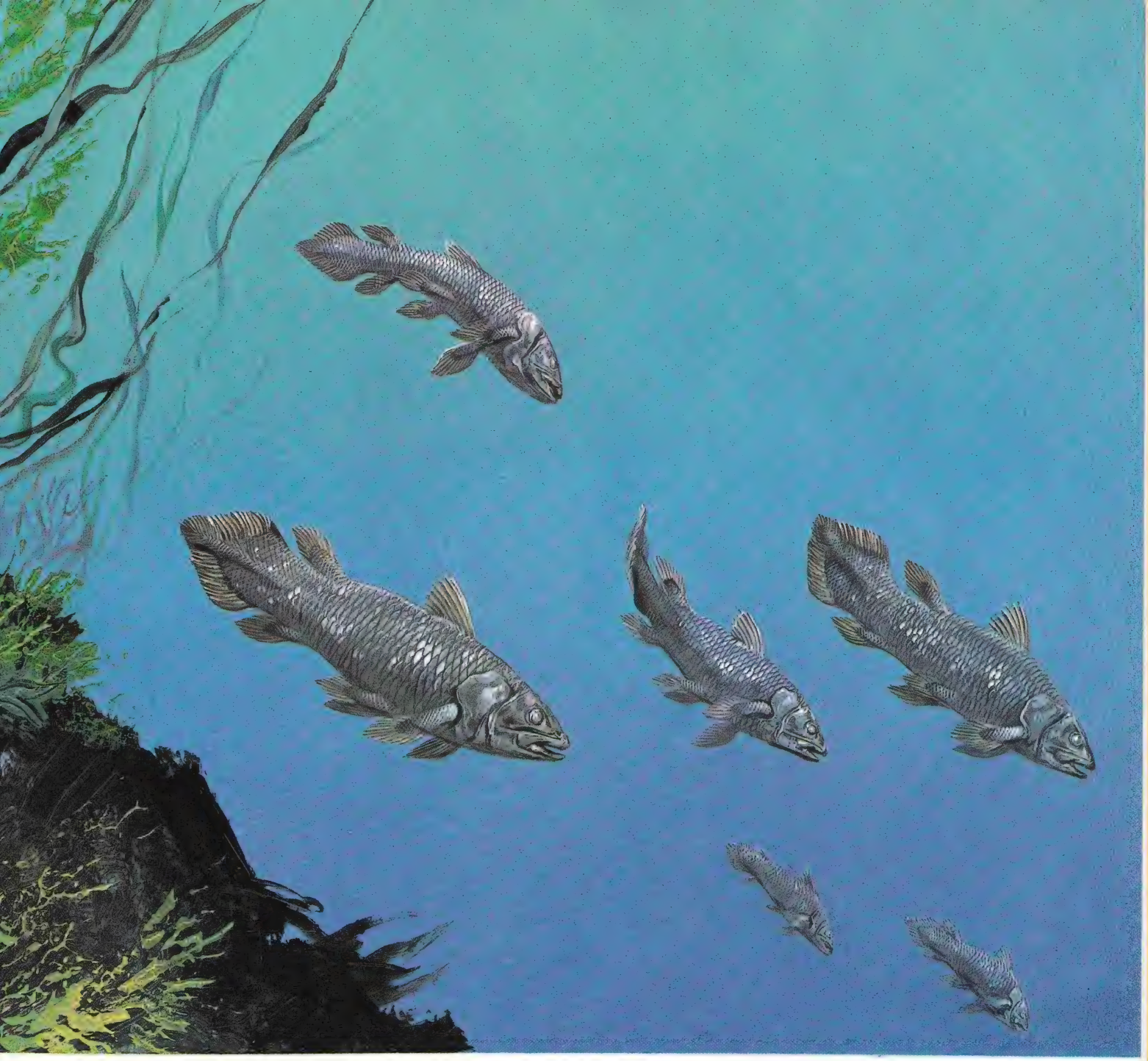
Hinblick auf einen Übergang zum Landleben dadurch entscheidend gehandikapt, daß die Struktur ihrer Flossen (nämlich Flossenstrahlen ohne echtes Skelett) für die Fortbewegung an Land letztlich ungeeignet ist. Auf lange Sicht konnte eine Struktur dieser Art also unmöglich zu einem kraftvollen, an die Lebensbedingungen an Land angepaßten neuen Lebewesen führen.

Es ist jetzt an der Zeit, von einer zweiten Gruppe devonischer Quastenflosser zu sprechen, für die ganz andere Bedingungen zutreffen; gemeint sind die *Rhipidistier.* Die Vertreter dieser Unterordnung begaben sich niemals auf die Dauer ins Meer wie etwa die Coelacanthini, sondern sie setzten sich in den warmen Sümpfen fest, aus denen sie stammten. Da sie mit leistungsfähigen Lungen und „Flossenfüßen" sowie mit einem zuverlässigen Körperschutz ausgestattet waren, nahmen sie eine Zwischenstellung zwischen Wasser- und Landlebewesen ein. Zwar starben sie alle gegen Ende des Paläozoikums aus, aber bevor sie von der Bühne abtraten, brachten sie aus ihrer Mitte das Amphibium hervor.

Der Begründer der Gruppe war *Osteolepis,* kaum länger als 20 cm. Er hatte einen konischen Körper mit starken Schuppen und einem heterozerken Schwanz. Er ähnelte entfernt dem Dipterus, war aber schlanker. Auf diesen urtümlichen Quastenflosser folgten bald bekanntere, größere Rhipidistier wie der *Holoptychius,* der rund 75 cm lang war, einen hohen, festen Rücken und lange, dünne Brustflossen hatte, die schlanken Füßen glichen. Der bemerkenswerteste unter den Rhipidistiern war jedoch der etwa 60 cm lange *Eusthenopteron* aus dem oberen Devon. Sein Schwanz hatte eine obere und eine untere Flosse, genau wie die rezente Art Latimeria chalumnae, allerdings mit einer Skelettstruktur, die derjenigen von Amphibien ähnelte. Er lebte in Europa und Nordamerika und trotzte dort den schwierigsten Lebensbedingungen in den Sümpfen des Oldreds so mühelos wie kein anderes Lebewesen zuvor.

Die endlosen Wanderungen des Eusthenopteron

Wenn ein Tier in Gefahr gerät, hat es im allgemeinen die Wahl zwischen drei verschiedenen Reaktionen (falls es überhaupt zu einer Reaktion fähig ist): Flucht, Selbstverteidigung oder Gegenangriff. Es mag seltsam klingen, aber die Evolution der Fische mit Lungen im späten Devon begegnete dem zunehmenden Verfall in den unsteten Tümpeln des Oldreds auf alle drei Arten zugleich. Flucht war die Reaktion, für die sich die Quastenflosser entschieden. Im Laufe der Zeit verwandelten sie sich in Meeresfische und gaben den Kampf ums Überleben in einer festlandartigen Umgebung auf. Die Lungenfische wählten den Weg der Verteidigung. Sie blieben im halbtrockenen Schlamm und versanken wahrscheinlich in den längeren Trockenperioden in eine Art Tiefschlaf,



ohne ihr Problem wirklich zu lösen. Gegenangriff schließlich war die Reaktion der Rhipidistier, die es vorzogen, den Kampf mit den unwirtlichen Bedingungen ihrer Umgebung aufzunehmen, und entschlossen von einem Tümpel zum anderen wanderten, statt sich in die widrigen Umstände zu fügen.

Tatsächlich waren die Rhipidistier ja nicht die am besten entwickelten Lebewesen. Es war vielmehr gerade ihre Urtümlichkeit und Primitivität, die sie instandsetzte, über eine feindselige Umgebung zu triumphieren. Ihre Köpfe mit den kräftigen, festen Knochen zeigten eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Kopf von Cephalaspis aus grauer Vorzeit; so befanden sich oben am Kopf immer noch das Pinealloch und das dritte

Einige Reaktionen von Fischen des Devons, die mit Lungen ausgerüstet waren, als sie mit den schwierigen Umweltbedingungen des Oldreds konfrontiert wurden. Links: Die Lungenfische, vertreten durch eine Dipterusgruppe, versuchten sich in den Teichen und Sümpfen einzugraben. Rechts: Die Quastenflosser kehrten ins Meer zurück, wo sie Sicherheit fanden und zu Tiefseefischen wurden. Nur die Rhipidistier trotzten den ungünstigen Bedingungen auf dem Land. So wurden sie die eigentlichen Begründer der Dynastie der Landwirbeltiere.

In der Zeit, als die unerbittliche Sonne den Boden des Oldreds austrocknete, stiegen Lebewesen wie diese beiden Vertreter von Eusthenopteron aus ihren Teichen und Seen, die kein Wasser mehr, sondern nur noch Schlamm enthielten. Sie wagten sich auf das feste Land und machten sich auf den Weg, um nach Wasser zu suchen. Dabei benutzten sie ihre stämmigen Brust- und Bauchflossen als Füße.

kleine Auge wie bei dem silurischen Cephalaspis und dem späteren Pterichthyodes. (Diese Eigenschaften sind jedoch bei allen primitiven Amphibien des späten Paläozoikums zu finden.) Außerdem enthielten ihre Flossen Knochen, die Ähnlichkeit mit denen im Beinskelett von Amphibien hatten.

Von allen Rhipidistiern stand der Eusthenopteron den Amphibien am nächsten. Ihm fiel die Aufgabe zu, den langen und mühevollen Weg aus dem Wasser zum festen Land zu bahnen. – Auf seinen Wanderungen von einem See zum anderen, von einem Sumpf zum nächsten, immer auf der Suche nach erträglicheren Lebensbedingungen, entwickelte er sich immer mehr zum eigentlichen Landbewohner. Diejenigen Individuen, die reine Wasserwesen blieben, hatten auf die Dauer schlechtere Überlebenschancen. Im Verlauf der natürlichen Auslese setzten sich schließlich diejenigen durch, die kräftigere Lungen und stabilere Füße hatten. Auf dem langen Weg von Mutation und Selektion paßten sich die Flossen immer besser an die Aufgabe an, endlos lange Strecken auf der Suche nach Wasser zurücklegen zu müssen.

Eine Gruppe von Periophthalmi, zeitgenössische Fische, die in tropischen Ländern wie Afrika und Ozeanien weit verbreitet sind. Bei Ebbe hüpfen diese Fische auf ihren Brustflossen ans feste Land und atmen die Luft der Atmosphäre. Damit beweisen sie, daß es auch heute Fische gibt, die imstande sind, sich an Lebensbedingungen anzupassen, die nicht ausschließlich vom Wasser bestimmt sind.

Es bedarf keiner allzu großen Phantasie, sich auszumalen, wie diese fremdartigen Lebewesen aus ihren schlammig-stickigen Tümpeln herauskrochen, während Farne ihre Zweige in das schwarze Wasser tauchten, und sich mühsam auf ihren Bäuchen über den Lehmboden voranschleppten in einer Landschaft, die in die Farben des Sonnenuntergangs getaucht war. Denn am Tage waren solche Wanderungen unter den gnadenlosen Strahlen der Sonne unmöglich.

Mit diesem außerordentlichen Ereignis in der Geschichte des tierischen Lebens auf der Erde endet unsere Geschichte, die zuletzt den Ursprung und die frühen Stadien in der Entwicklung der Wirbeltiere aufdeckte. Unzählige Veränderungen, die von den Urbewohnern des Meeres in grauer Vorzeit zu den ersten Landbewohnern – Tieren und Pflanzen – führten, sind an unserem geistigen Auge vorübergezogen. Weitere außerordentliche Vorgänge bahnen sich an und sind darzustellen: die Geschichte der Umgestaltung des Landes aus einer Wüste, in der fruchtbare Gegenden selten waren, in eine Welt voll reichen, blühenden Lebens.

Bibliographie

Ageno, M.: L'origine della vita sulla Terra, Bologna 1971
Barnes, R. D.: Invertebrate zoology, Philadelphia [2]1968
Beiser, A.: Die Erde, dt. Übers., Amsterdam und Frankfurt 1969
Black, R. M.: The Elements of Palaeontology, Cambridge 1970
Brouwer, A.: General paleontology, engl. Übers., Chicago 1967
Buchsbaum, R./Milne, L. J.: Niedere Tiere, dt. Übers., München 1973
Cox, B.: Prehistoric animals, New York 1971
Dal Piaz, G.: Lezioni di paleontologia. Bd. 1: Introduzione generale e 'invertebrati, Padua 1959
Dal Piaz, G./Malaroda, R.: Paleontologia. Bd. 2: Vertebrati, Padua 1966
Grzimeks Tierleben, München 1967–73. Bd. 1: Niedere Tiere (1971). Bd. 3: Weichtiere und Stachelhäuter (1970)
Jarma, C.: L'evoluzione della vita, Mailand 1971
Kirkaldy, J. F.: Fossilien in Farben, dt. Übers., Ravensburg 1971
Kurtén, B.: Die Welt der Dinosaurier, Frankfurt 1974
Leonardi, P.: Trattato di geologia, Turin 1968
Moore, F.: L'evoluzione, Mailand 1969
Moore, R. C., u. a.: Invertebrate Fossils, New York 1952
Padoa, E.: Storia della vita sulla Terra, Mailand 1971
Piccoli, G.: Lezioni di paleobotanica, Padua [2]1970
Pinna, G.: Fossili; Invertebrati, Novara 1972
Pinna, G.: Fossili, Mailand 1974
Pinna, G.: Paleontologia ed evoluzione, Mailand 1974
Rhodes, F. H. T., u. a.: Fossils, Racine 1962
Romer, A. S.: L'évolution animale, Paris 1970
Ruggieri, G.: La Terra prima di Adamo, Mailand 1973
Spinar, Z. V./Burian, Z.: Leben in der Urzeit, dt. Übers., Hanau [4]1976
Takeuchi, H., u. a.: Debate about the Earth, San Francisco 1967
Trevisan, L./Tongiorgi, E.: La Terra, Turin 1958
Wells, M.: Lower animals, New York 1968

Atlante biologico, Garzanti, Mailand 1971
Biologia 1 e 2, Le Scienze, Mailand 1971/72

Bildquellennachweis

BILDTAFELN UND ZEICHNUNGEN

R. D. Barnes, Invertebrate Zoology ... (s. Bibliographie): 42 (links), 43 (rechts), 68 (links), 70, 72 (links), 75, 82, 92, 100, 112, 116; Bertelli, Brescia: 147; Cattaneo, Bergamo: 98/99, 108/109, 122/123, 140/141, 154, 202/203, 258; Corbella, Mailand: 24/25, 35, 37, 38/39, 40, 42 (links), 43 (rechts), 44/45, 46, 47 (rechts), 48, 49, 50/51, 58, 64, 77, 81, 82, 85, 87, 92, 96, 100, 101, 104, 105, 106, 110 (links), 112, 116, 126, 127, 155, 209, 214 (links), 219; Cozzaglio, Brescia: 146, 150, 151 (links), 156/157, 160/161, 164/165, 166, 168, 170/171, 175, 178, 179, 180, 181, 194/195, 206 (oben), 207, 256/257; Curiel, Verona: 21 (rechts), 31 (rechts), 36, 151 (rechts), 215, 230 (links), 231, 232; Di Ciancio, Mailand: 216/217, 218, 220/221, 238/239, 248/249; Fedini, Mailand: 18/19, 53, 55, 62/63, 66, 73, 78/79, 84, 88/89, 103, 119, 130/131, 174, 252/253; Ghiringhelli, Mailand: 8, 56 (links), 57, 68 (links), 70, 72 (links), 75, 93 (rechts), 95 (rechts), 118, 135, 136, 137, 142, 144, 148, 152, 158, 169, 176, 177 (rechts), 184, 185, 187, 193, 197 (rechts), 210, 225 (links), 247 (rechts oben); Mondadori-Archiv, Mailand: 60 (links), 114 (links), 130 (links); Pistoia, Bologna: 223; Sergio, Mailand: 12/13, 143, 167 (links), 198, 199, 226, 228, 234, 235, 237, 238 (links oben), 242, 244, 245 (unten), 246, 250, 251, 254, 255.

FOTOGRAFIEN

American Museum of Natural History, New York: 167 (rechts), 245 (oben); Arborio Mella, Mailand: 7, 12, 15 (rechts unten); R. D. Barnes, Invertebrate Zoology ... (s. Bibliographie): 68 (rechts), 72 (rechts); Britisches Museum, London: 197 (links); J. Burton, London: 259; Carrese, Mailand: 41, 134; A. Cash, London: 200; Bruce Coleman Ltd., London: 247 (unten); Crespi, Mailand: 24; Dal Gal, Verona: 204, 206 (unten), 236; Dalle Vacche, Livorno: 43 (links); Frezzato, Bergamo: 47 (links), 52, 54, 191, 196, 225 (rechts); George Hall/Woodbin Camp, New York: 20, 21 (links); F. W. Lane, London: 233; Margiocco, Genua: 74; Marka, Mailand: 17, 32, 80, 94, 124; Mazza, Mailand: 68 (rechts), 69, 86, 97, 113, 117, 121, 149, 159, 182, 190, 212, 230 (rechts); Micek, Innsbruck: 22/23, 30, 31 (links), 42; Mondadori-Archiv, Mailand: 4, 6, 10, 14, 15 (oben), 24 (links), 28, 60 (rechts), 110 (rechts), 114 (rechts), 115, 120 (links), 128, 129, 172, 205 (K. J. Müller); Motto, Mailand: 107; Pictor, Mailand: 11, 16, 27, 29, 34, 61, 71, 83, 90, 91, 125, 132, 138, 162, 188, 192; Pinna, Mailand: 9, 65, 102, 111, 208, 229; Quilici, Rom: 189, 240, 243; Ricciarini, Mailand: 56 (rechts), 59, 72 (rechts), 76, 93 (links), 95 (links), 120 (rechts), 153, 177 (links), 186, 210 (oben), 211, 214 (rechts), 222.

Register

Kursive Seitenzahlen beziehen sich auf Abbildungen oder auf Text und Abbildungen

Aal *230f.*
Abdominalfüße 187
Agassiz, L. 227
Agnathen 104, 146f., 151, 155, *170/171,* 228, 230, *232*
Ainiktozoon *151*
Akanthoden s. Stachelhaie
Algen *73, 88/89,* 193, 204, 224
Alligator *144*
Altersbestimmung, relative 19
Amandibulata 104
Ammoniten *95f.,* 205, 207ff.
Amöbe *44, 46f.*
Amphioxus s. Lanzettfischchen
Anglaspis *170/171,* 179, *181*
Anneliden s. Ringelwürmer
Anostraca s. Kiemenfußkrebse
Antarktis 134, *136*
Antennen *114*
Aragonit *26*
Archaikum 21, 31, 33
Archäozyathen *60*
Arduino, G. 10
Arktis *138*
Armfüßer 71ff., *74f.*
Arthrodiren 235f.
Arthropoden s. Gliederfüßer
Askonschwamm *58*
Assimilate 215
Asterias s. Seesterne
Asteroxylon *216/217*
Astrangia lineata *9*
Astraspis 145ff.
Aszidiazeen 152
Ätna *22f.*
Außenskelett 142
autotroph 41
Aysheaia 104
Azoikum 21

Balanoglossus 157
Baragwanathia *197f.,* 219
Bärlappgewächse *219,* 222
Basalkörperchen 39
Basalt 23
Bauchfüßer 87
Beuteltiere 14
Birgus latro 187
Birkenien *170/171,* 179f.
Blasenbandwurm *45*
Blastoporus *119f.*
Blastozyste 64
Blastula 70, 120
Blattfußkrebse 205
Blaualgen *24,* 33, *35*
Blutegel 81
Blütenpflanzen *6, 225*
Boccaccio, G. 8
Bohrmuschel *92*
Borstenwurm *80*
Bothriolepis *234f.,* 250
Brachiopoden s. Armfüßer
Branchiopoden s. Blattfußkrebse
Braunalgen *32*
Brustflossen 254
Bryophyten s. Moose
Buffon, Graf von 10, *12/13*
Burgessia 111

Cabinet du Roy 10
Callixylon 225
Carcinosoma *168f.*
Cephalaspis 173, *175, 177, 179*
Ceratium 44
Ceratodus 248
Cheirolepis *244, 248/249*
Chelicerata s. Scherenfüßer
Chelizeren s. Scheren
Chilopoden s. Hundertfüßer
Chitinpanzer 102, 105
Chlorophyll *37f.*
Chloroplasten *37f.*
Chondrichthyes s. Knorpelfische
Chorda dorsalis 150ff., *154*
Chordata s. Chordatiere
Chordatiere 150, 152, *154f.,* 159
Chromatophoren 100
Cladoselache *226, 238/239, 242, 255*
Climatius *226,* 241f.
Coccosteus *226,* 236f., *248/249*
Coelacanthini s. Hohlstachler
Coelenterata s. Hohltiere
Corycium enigmaticum 28
Cuvier, Baron de 11, *14f.*
Cypris 117

Darwin, Ch. 18
Deuterostomier *119f.*
Devon 201, 204, 213, 216, 227
Didymaspis *170/171,* 173, *175*
Dinichthys 237ff.
Dinoflagellaten 43f.
Dipluren 211
Dipnoi s. Lungenfische
Dipterus *246,* 248/249
Djelleh 246ff.
Dolomiten *29*
Dreilappkrebse s. Trilobiten
Drepanaspis *228f.*

Echinodermen (Echinodermata) s. Stachelhäuter
Echinometra *124*
Eibe 213f.
Einsiedlerkrebs 187
Einzeller *44f.,* 53
Eisenbakterien 30
Eisenblumen *26*
Eiskappen 133ff.
Eiszeit 135

Elefantenzähne *93*
elektrische Organe *177*
Embryonalentwicklung *64*
Embryosack 224
Eozoikum 33
Equisetinae s. Schachtelhalme
Erdaltertum s. Paläozoikum
Erdurzeit s. Archaikum
Errantia *78/79*
Eruptivgestein 23
Eudorina *55*
Euglena 42, *44*
Eurypteriden 166, 236
Eurypterus 166ff.
Eusthenopteron *251, 255,* 256ff.
Evolution 5, 17, 38, *252/253*
Evolutionstheorie 18

Facettenaugen 167
Farne *222f.*
Fibrillen 39f.
Fiederkiemen 89
Fig-tree-Serie 33
Flagellaten *38,* 45f., *55*
Flagellen s. Geißeln
Flossenstrahlen 247, *255*
Flügelkiemer *126,* 128
Foraminiferen 35, *48ff.,* 52, *56*
Fortpflanzung, ungeschlechtliche *45*
Fossilien *8, 10*
Fracastoro, G. 10
Frauenhaarfarn *223*

Gallertalge s. Nostoc
Gameten s. Geschlechtszellen
Gametophyten 223f.
Garnele *113*
Gastropoden s. Bauchfüßer
Gastrula 120
Gefäßbündel *215*
Geißeln 39f., 43, 46
Geißeltierchen s. Flagellaten
Geißelzellen 58
Geisterkrebs *188*
Gemuendina 235f.
Geschlechtspolypen 67
Geschlechtszellen 54
Gliederfüßer *103ff.,* 142, *148,* 209
Goniatiten *208*
Grabfüßer *93*
Granit 23
Graptolithen *127ff.,* 156, *164,* 204
Gunflint 35f.
Gymnodinium 44

Haematococcus *42*
Hammerhai *147*
Häutung 105
Hemichordaten 156, 204
Hemicyclaspis *170/171,* 173ff., 229
heterotroph 41
heterozerk 177, 244
Hinterkiemer 91
Höhere Krebse *116f.*
Hohlstachler 251
Hohltiere 64, 118
Holoptychius *248/249, 254f.*
Holothurien s. Seegurken
Holzgefäße *214f.*
Hornkoralle *71*
Hundertfüßer *190,* 209
Hundshai *179*
Hydrozoen 67, 69f.

Insekten 139, 191, *193*
Intelligenz 101

Jamoytius *170/171,* 180f., *226*
Jardin des Plantes 10

Käferschnecke *81ff.*
Kahnfüßer *93*
Kalkschwämme *60*
Kambrium 33, 67, *122/123,* 165
Kammerlinge s. Foraminiferen
Kammuschel *84*
Keimbahn 54
Kiaeraspis 229
Kieferlose s. Agnathen
Kiemen 110
Kiemenblättchen 187
Kiemenbögen *232*
Kiemenfüße s. Kiemenfußkrebse
Kiemenfußkrebse 117
Kirchner, A. *8*
Knochen 139
Knochenfische 145, 147, 241, *243*
Knorpelfische 145ff., 242
Kofferfisch 160
Kokosnußräuber s. Birgus latro
Kollembolen s. Springschwänze
Kongsfjord *132*
Konsumenten 191
Kontinentalschilde 22
Kopffüßer 93, 95, *96, 98/99,* 100f., 165
Korallen *9, 65, 88/89,* 204
Korallenbank *182*
Korallenkolonie *204*
Korallenmeer *162*
Korallenriff 163, *202/203,* 204
Korbfisch *159*
Kordaiten 224
Krabben 115, *117*
Kragengeißeltierchen 58
Krake *97,* 101
Kraulen *41*
Krebstiere *112, 114f.*
Krinoiden 163ff., *202/203,* 204
Krossopterygier s. Quastenflosser
Ktenidien s. Fiederkiemen

Lamarck, J.-B. de 17
Lamellibranchiata s. Muscheln
Lanarkia *170/171*
Landgliederfüßer 209
Landskorpione 184
Lanzettfischchen *150,* 152, *154*
Laterne des Aristoteles *124*
Latimeria chalumnae *250, 256/257*
Laufbeine *104*
lebende Fossilien 185
Leibeshöhle 74, *119,* 130
Leibeshöhlentiere 120
Leitbündel 215
Leuchtbakterien 100
Leuchtorgane 100
Leuchtqualle *69*
Leukonschwamm *58*
Limulus s. Pfeilschwanzkrebse
Lingula 71, *75*
Lingulella 75
Linné, C. von *6*
Lobenlinien *95*
Longhi, P. *7*
Lungenfische *244ff., 256/257*
Lungenschnecken 91
Lycopodium s. Bärlappgewächse

Makrosporen 224
Malacostraca s. Höhere Krebse
Mandibeln *114,* 116
Mandibulata 105
Manteltiere s. Tunikaten
Maxillen 116
Medusen *66f.,* 69
Megatherium 15
Merostomata 184f.
Mesogloea 64
Metameren 75
Metamorphit 26
Metanephridien 75, 77
Mikrosporen 224
Milben 209, *211*
Mitochondrien 38
Mollusken s. Weichtiere
Moose 224
Moosfarn s. Selaginella
Mörderwal *240*
Morula 64
Mundöffnung *119*
Münzsteine s. Nummuliten
Muschelkrebse 117
Muscheln 92f., 205
Muskeln 142
Myriapoden s. Tausendfüßer

Nährpolypen 67
Nahrungskette *143, 198, 199*
Napfschnecken *85ff.*
Nautiloideen *156,* 165f., *202/203,* 205, 208
Nautilus *84, 94f.,* 207f.
Nebalia 118
Nematophycus 213
Nematophyten *194/195,* 196
Neoceratodus *245, 247, 255*
Neopilina *82ff.*
Neunauge *149,* 154
Nisiros *30*
Nordpol 138
Nostoc 35f.
Nummuliten *56f.*

Octopus vulgaris s. Krake
Ökosystem 191
Oldred 201, 204, 230, 246, 250, 255
Ommatidien 106
Onverwacht-Serie 33
Onychophoren s. Stummelfüßer
Oralpapillen 102
Ordovizium 134, 145, 147, 151, *160/161*
orogenetische Faltung 28
Oscillatoria 35
Osteichthyes s. Knochenfische
Osteolepis *248/249, 254*
Ostracion s. Kofferfisch
Ostrakodermen 228
Ozellen 168

Palaeophonus nuntius *183f.*
Paläontologie 18
Paläozoikum 33, 157, *252/253*
Pallium 96
Palmendieb s. Birgus latro
Palolowurm 81
Pandorina *55*
Pangäa 137
Pantoffeltierchen 54
Panzerfische 145, 173, *232ff.*
Panzerkopffisch *228*
Paramecium s. Pantoffeltierchen
Parapodien 76
Patellidae s. Napfschnecken
Peitschenprinzip *40,* 43
Penicillin 54
Periophthalmus s. Schlammspringer
Peripatus *101,* 104
Perlboot s. Nautilus
Pfeilschwanzkrebse *185ff.*
Phacops rana *107*
Photosynthese 29, 36, 38, 41
Phytoflagellaten *42*
Pilina 83, 89
Pinealloch 173, 257
Pinselschimmel *52,* 54
Plakodermen s. Panzerfische
Plazenta 104
Plutonit s. Tiefengestein
Polverschiebungen 136
Polypen 67ff.
Poriferen s. Schwämme
Porta, G. Della *6*

Präkambrium *34, 57*
Produzenten 191
Prothallium 223
Protisten s. Einzeller
Protolepidodendron *225*
Protomedusen s. Urquallen
Protophyten 46
Protopterus *245f.*
Protostomier *119f.*
Prototaxites 213f.
Protozoen 46, *50*
Pseudokrustazeen 111
Pseudopodien s. Scheinfüßchen
Pseudosporochnus *218*
Psilophytales 196
Psilophyten *215ff.*
Psilolopsis 222
Psilotum 218
Pteraspidomorphen 229
Pteraspis *170/171, 177ff.*
Pterichthyodes *234f.*, 250
Pteridophyten *219ff.*
Pteridospermae s. Samenfarne
Pterodactylus 15
Pterygotus *167ff.*
Pygidien *102,* 106

Quallen *62f.*, 40, *70*
Quartär 21
Quastenflosser *250*, 251, *254ff.*

Rabuzin, I. *4*
radioaktive Elemente 20
Radiolarien s. Strahlentierchen
Radiolarienschlamm 52
Radula 82
Regenbogenforelle *146*
Regenwürmer 81
Rhabdopleura *126ff.*
Rhabdosomen *127, 130*
Rhenaniden 235
Rhipidistier *251,* 255, *256/257*
Rhizopoden s. Wurzelfüßer
Rhyncholepis *170/171, 180*
Rhynia *216/217*
Riesenmuschel *91*
Ringelwürmer 75ff., 81, *212*
Ringgefäß *214*
Rivularia 35f.
Rückenmark 139
Ruderschlagprinzip *40*

Samenfarne 224
San-Andreas-Störung *20f.*
Santorin *30*
Sargassosee 231
Schachtelhalme *219,* 222
Scheinfüßchen 46
Schelfe 23
Scheren 112, *114*
Scherenfüßer 105, 112
Schiefergestein *34*
Schlammspringer 254
Schlangenstern *205*
Schmarotzerpilze *196*
Schneckengehäuse *85*
Schönauge s. Euglena
Schraubensabelle *80*
Schreckensfisch s. Dinichthys
Schulp *97*
Schuppenfisch *159*
Schwämme *57f., 62f., 73, 88/89*
Schwanzfächer *114*
Schwefelbakterien *30*
Schwefelpurpurbakterien 29
Schwimmblase *245f.*, 249f., 250, 254
Schwertschwänze *108/109ff.*
Schwingalge s. Oscillatoria
Sclerodus 173, *175*
Sedentaria *78/79*
Sedimentgestein 26, 31
Seegurken 126
Seeigel *120, 124*
Seelilie *121*
Seeringelwurm *77*
Seescheiden *153*
Seeskorpione *158, 160/161,* 166, *169,* 184
Seesterne 124f., *204ff.*
Segmentierung 85
Selachier *232*
Selaginella 224
Serpula *76*
Sexualität 54, 56, 81
Siebgefäße *215*
Silur 163, 169, 173, *176, 192, 197, 198,* 201, 204, 219
Siphon 93
Skelett 139, *142*
Skorpione 191, *210*
Skyphozoen 67, 69f.
Solnhofer Schiefer *114f.*
Spaltbeine 110
Spinnen *209f.*
Spinnentiere 185
Spiralgefäße *214f.*
Spirula 100
Spitzbergen *132*
Spitzhaaralge s. Rivularia
Sporangien *44,* 198
Sporen *44,* 198, 223
Sporenkapseln *219*
Sporentierchen 46
Sporophylle 223
Sporophyten 223f.
Sporozoen s. Sporentierchen
Springschwänze *210f.*
Staatsquallen 67
Stachelhaie 241
Stachelhäuter *118,* 121, *122, 123,* 156, 204
Stalagmiten *27f.*

Stalaktiten *27f.*
Statolithen 68
Statozyste 68, 115
Stirnaugen 169
Strahlentierchen *50,* 52
Stratigraphie 10, 19
Stromatolithen *24/25,* 28, 35
Strontiumsulfat 52
Stummelfüßer *100f., 106*
Südpol 133, 204
Süßwasserpolyp *45*
Sykonschwamm *58*
Symbiose 100

Tassili *134*
Tausendfüßer 189f., 209
Teleskopaugen 115
Tentakel *70,* 77
Terataspis 205
Theken *127*
Thelodus *181*
Thiorhodazeen s. Schwefelpurpurbakterien
Thyestes *170/171,* 173
Tiefengestein 23
Tigerhai *233*
Tintenfische 96
Titanichthys 240
Tracheen *190f.*
Trichonympha *43*
Trilobiten *102, 105ff., 135, 156, 164f., 202/203,* 205f.
Trilobitenphase 185
Tropfsteinhöhle *27*
Tunica 152
Tunikaten *151f.*

Unterseewiesen 163
Urdarm *64*
Urfarne s. Psilophyten
Urhai 242
Urkontinent 22
Urkrebs 116
Urochordaten 152, *154f.*
Urpanzerfische 173
Urquallen 64f.
Urschnecke 83

Volvox *53ff.*
Vorderkiemer 91
Vorkeim s. Prothallium
Vulkangestein (Vulkanit) 23

Wachholderbaum *16*
Waptia 111
Wasserkreislauf 215
Wehrpolypen 67
Weichtiere 81, *84f., 88/89*
Wellhornschnecke *84*
Wimpern 39
Wimpertierchen 46
Wirbelsäule 139
Wirbeltiere 105, *139ff., 154f.*
Würmer 75
Wurzelfüßer 46
Wurzeln 222

Xiphosurus s. Schwertschwänze

Zahnschnecken *84, 93*
Zehnfußkrebs *114*
Zelldifferenzierung 56
Zellkolonien 56
Zephalaspidomorphen 173, 228
Zephalochordaten *154f.*
Zephalopoden s. Kopffüßer
Zilien s. Wimpern
Zitterrochen *176f.*
Zölom s. Leibeshöhle
Zölomaten s. Leibeshöhlentiere
Zonaria flava *32*
Zooflagellaten 42
Zyanophyzeen s. Blaualgen

Die Geheimnisse der Urzeit

Band 1:
Der Ursprung des Lebens

Band 2:
Das Leben im Meer

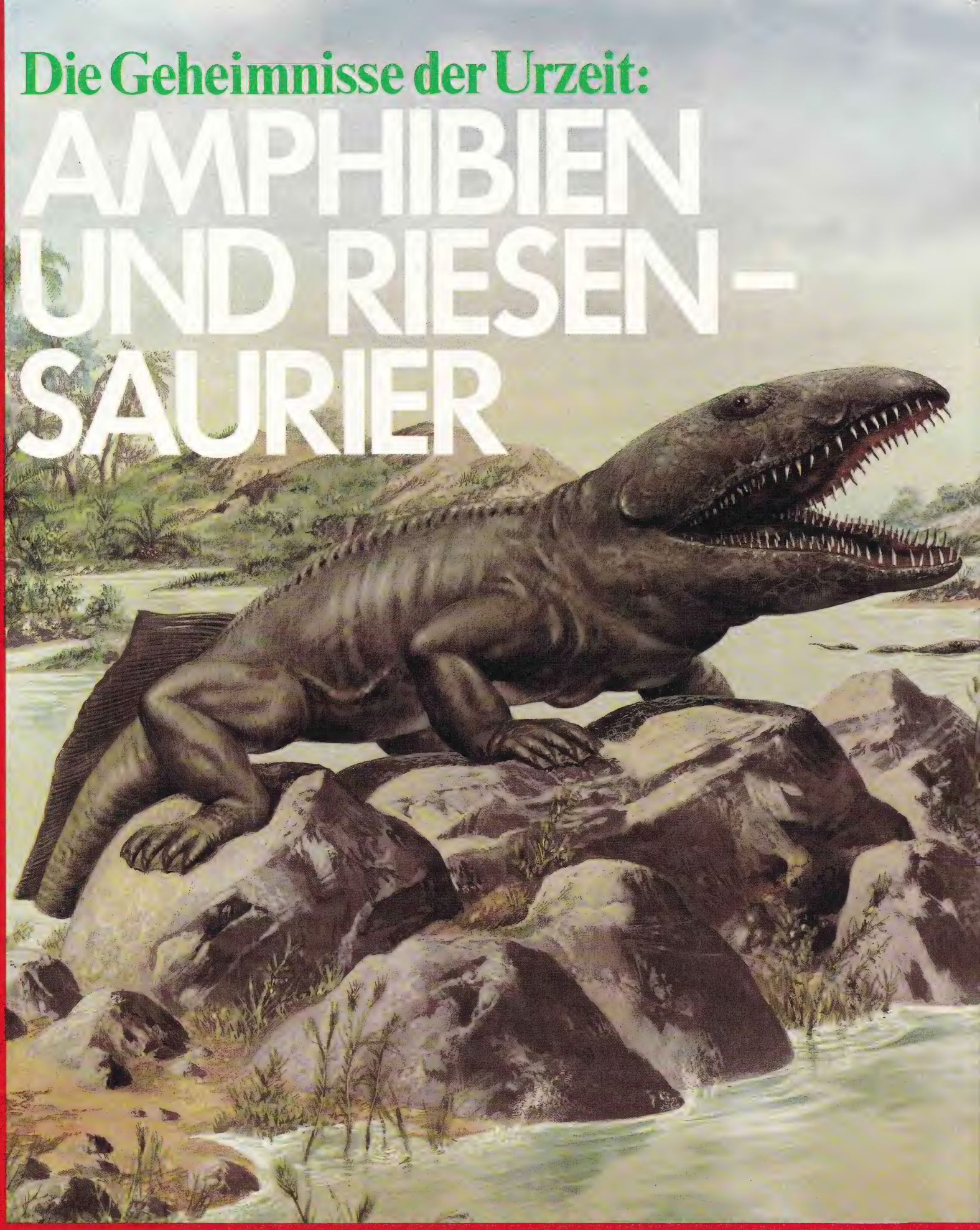
Band 3:
Amphibien und Riesensaurier

Band 4:
Säugetiere und Urmenschen

Band 5:
Die Morgendämmerung der Kultur

Die Geheimnisse der Urzeit:

AMPHIBIEN UND RIESEN-SAURIER



Die Geheimnisse
der Urzeit

Herausgegeben von den Fachredaktionen
des Bibliographischen Instituts

Band 3

AMPHIBIEN UND RIESENSAURIER

Bibliographisches Institut
Mannheim/Wien/Zürich

Die Geheimnisse der Urzeit

Band 1: Der Ursprung des Lebens
Band 2: Das Leben im Meer
Band 3: Amphibien und Riesensaurier
Band 4: Säugetiere und Urmenschen
Band 5: Die Morgendämmerung der Kultur

Die Originalausgabe dieses in mehreren Sprachen veröffentlichten Werkes umfaßt 20 Bände und erscheint unter dem Titel
Il pianeta dell'uomo
im Verlag Arnoldo Mondadori Editore, Verona.
Herausgeber: Mario Andreose
Redaktion und Bildbeschaffung:
Margherita Forestan und Fabrizio Tolu
Graphische Gestaltung: Maurizio Turazzi
Layout: Franco Morati

Originaltexte dieses Bandes von Guido Ruggieri.
Deutsche Übersetzung von
Inge Nissen unter Mitwirkung von Dagmar Aust.

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Die Geheimnisse der Urzeit / hrsg. von d. Fachred. d. Bibliograph. Inst. Hrsg. [d. Orig.-Ausg.]: Mario Andreose. — Mannheim, Wien, Zürich: Bibliographisches Institut.
Einheitssacht.: Il pianeta dell'uomo (dt.)
NE: Andreose, Mario [Hrsg.]; EST

Bd. 3. – Amphibien und Riesensaurier

Amphibien und Riesensaurier. – Mannheim, Wien, Zürich: Bibliographisches Institut, 1978.
(Die Geheimnisse der Urzeit; Bd. 3)
ISBN 3-411-01803-8

Alle Rechte vorbehalten.
Nachdruck, auch auszugsweise,
nicht gestattet
© 1975 Europa Verlag
Deutsche Übersetzung © 1977
Bibliographisches Institut AG, Zürich
Satz: Bibliographisches Institut AG,
Mannheim, und Beltz-Druck, Hemsbach
(Photosatz Linotron 505TC)
Gesamtherstellung:
Arnoldo Mondadori Editore, Verona
Printed in Italy
ISBN 3-411-01803-8

Inhalt

Die Wirbeltiere erobern das feste Land 5

Die Wälder im Karbon 21

Die Wirbellosen im Karbon 41

Die Amphibien entfalten sich, und die Reptilien erscheinen 53

Die große Vergletscherung am Ende des Karbons 67

Die Reptilien breiten sich aus 79

Die Reptilien des Perms 89

Die gigantischen Amphibien der Trias 99

Die Morgendämmerung der Dinosaurier und der Säugetiere 111

Die Entdeckung der Dinosaurier 133

Die Dinosaurier der Trias 147

Das Leben im Jura 161

Gigantische Sauropoden und aggressive Theropoden 177

Leichte Kavallerie, wendige Panzer und die ersten Flieger 191

Das Leben in der Kreide 207

Die Dinosaurier der Kreide 221

Der blutrünstige Tyrannosaurus und die Entenschnabeldinosaurier 239

Der Schwanengesang der Dinosaurier 251

Bibliographie 261

Bildquellennachweis 263

Register 264

Die Wirbeltiere erobern das feste Land

Die ersten Amphibien in Grönland

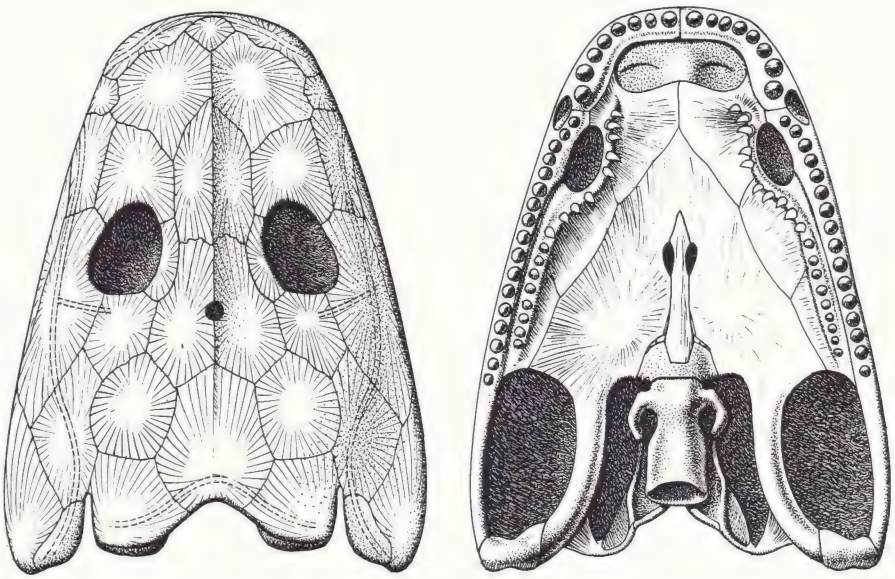
An der nordöstlichen Küste Grönlands schneiden düstere Fjorde mit ihren eiskalten Gewässern tief ins Land ein. Von den Plateaus ergießen sich riesige Gletscher, kristallenen Lawinen gleich, zur öden Küste hinab. Überall herrscht eine Wüste von Eis und Schnee. Und doch liegen tief in den Gesteinsschichten der Fjorde Überreste von zeitlich weit zurückliegenden, nun verschwundenen Landschaften, auf die einst die Sonne niederbrannte. In unmittelbarer Nachbarschaft von Wüsten, über die heiße Winde dahinfegten, gab es auch Sümpfe, in denen es von Leben nur so wimmelte. Um diese Sümpfe polterten Horden von schwerfälligen Wesen, die außer ihren schuppigen Körpern und Fischschwänzen bereits vier Füße hatten. Es waren die ersten Amphibien: die Vorhut der Wirbeltiere, die sich jetzt anschickten, das feste Land zu erobern. Sie verschwanden zusammen mit der tropischen Sonne.

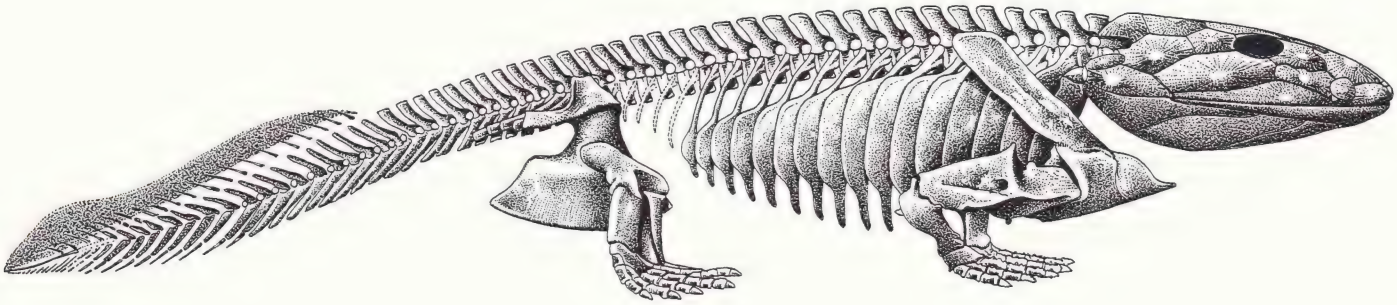
Diese Lebewesen wurden 1931 entdeckt, als ein Team von dänischen Geologen die Sandsteinschichtungen auf der Insel Ymers und der Gaußhalbinsel entlang der zerklüfteten Küste Grönlands nördlich von Island erforschte. Der Sandstein, den sie untersuchten, wies eine rötliche Färbung auf und enthielt einige wenige Überreste von Landpflanzen und zahlreiche Fossilien von jenen bemerkenswerten Lungenfischen aus dem Devon, die wir im vorhergehenden Band dieser Serie kennengelernt haben. Die Art der Ablagerung zeigt ohne Zweifel, daß die Sandsteinfelsen vor rund 345 Millionen Jahren, wie die Fossilienfunde beweisen, Wüstensand gewesen waren, in denen sich hier und da vorübergehend einige Sümpfe befunden hatten.

Unter den Fossilienfunden sind besonders bemerkenswert die großen Schädel von Lebewesen, die zwischen den Lungenfischen und den primitivsten bekannten Amphibien anzusiedeln sind. Es handelt sich um die Vertreter der Gattung *Ichthyostega.* Später wurden sogar einige komplette Ichthyostegenskelette gefunden, die den Beweis erbrachten, daß diese Lebewesen bereits regelrechte Füße (und keine Flossen) hatten, obgleich sie noch in vieler Hinsicht den Fischen ähnelten.

Der Name „Ichthyostega" setzt sich aus zwei griechischen Wortelementen zusammen, die soviel bedeuten wie „Fisch" und „bedeckt" oder

Ein Fjord an der Nordostküste Grönlands. Unter diesen Eiswüsten liegen die Überreste urtümlicher Amphibien, die vor 345 Millionen Jahren lebten.





Ein Ichthyostegenskelett, rekonstruiert nach den besterhaltenen Exemplaren, die auf der Insel Ymers und der Gaußhalbinsel in Grönland gefunden wurden. Oben: der harte, kräftige Schädel dieser Tiere, von oben und von unten gesehen. Das dritte Auge (Pinealauge), das zweite Paar Nasenöffnungen und die doppelte Zahnreihe sind sämtlich sichtbar. Die gefundenen Skelette sind 1–1,2 m lang.

„geschützt". Primitive Amphibien wurden früher – wegen ihres harten, kräftig gebauten Kopfes – als *Stegocephalus* („geschützter Kopf") bezeichnet. Die Bezeichnung Ichthyostega verbindet also den Fisch mit dem Stegocephalus und ist damit ein recht passender Name: Das damit bezeichnete Lebewesen war, obgleich schon Amphibium, zugleich auch noch Fisch.

Die Verwandtschaft zwischen Ichthyostegen und Fischen

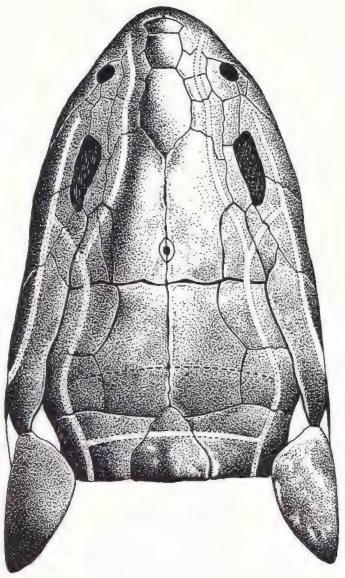
Wenn wir an einem fossilen Abdruck die Konturen eines Ichthyostegenskeletts betrachten, wird uns die Verwandtschaft zwischen Ichthyostegen und Fischen sofort klar: Über dem Schwanz von Ichthyostega, nahe der Spitze, befindet sich ein strahlenförmiges Gerüst, das dem Gerüst, welches bei Fischen die Flossen stützt, entspricht. Daraus können wir folgern, daß die Ichthyostegen eine Flosse an der Schwanzspitze besaßen. Es gibt eine verblüffende Ähnlichkeit zwischen dieser Form und dem umgekehrt-heterozerken oder hypozerken Schwanz (= untere Schwanzflossenhälfte verlängert) der primitiven Urfische.

Auch andere Merkmale des Skeletts sind bezeichnend, wenn auch nicht auf den ersten Blick: die Struktur der Wirbelsäule, die Position der Nasenöffnungen, die Anordnung der Knochen im Schädel; alle diese Merkmale zeigen große Ähnlichkeit mit denen der Lungenfische des

Devons. Wir haben die Lungenfische zwar schon ausführlich im vorhergehenden Band besprochen; wir müssen hier gleichwohl einige Fakten wiederholen: Fische mit Lungen, die in großer Zahl in den Binnensümpfen des Oldreds im nördlichen Europa und in Grönland lebten, gehörten zwei Gruppen an: den *Lungenfischen* (Dipnoi) und den *Quastenflossern* (Crossopterygii). Die ersteren überstanden die Unbilden der Zeiten besser als die letzteren; ihre Nachkommen leben noch heute in Afrika, Südamerika und Australien. Sie hatten funktionstüchtige Lungen und kräftige Flossen, entwickelten sich jedoch nicht weiter. Die Quastenflosser versuchten ebenfalls, sich an ein Leben auf dem festen Land anzupassen. Einigen ihrer Vertreter gelang dies jedoch nicht; sie suchten deshalb Zuflucht außerhalb der austrocknenden Sümpfe in den tiefen Gewässern des Indischen Ozeans. Dort lebt noch heute ein Vertreter dieser Ordnung, *Latimeria*.

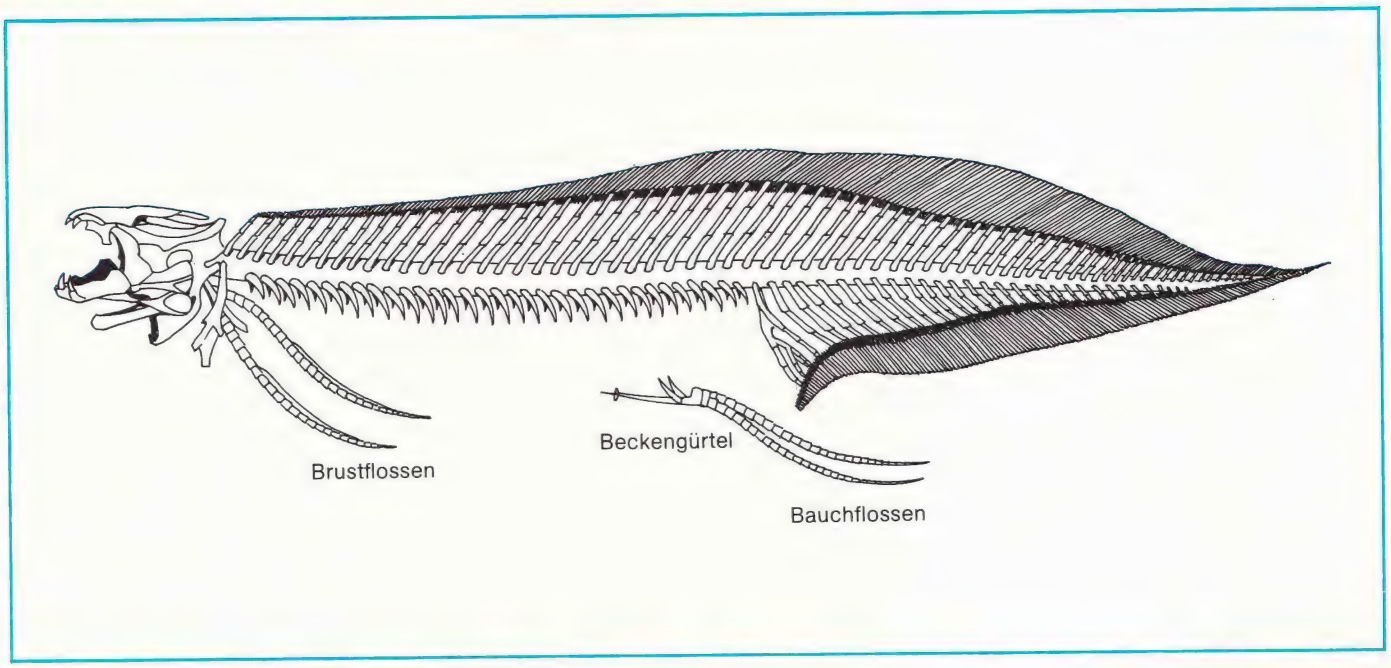
Die sog. *Rhipidistier* unter den Quastenflossern kämpften gegen die zeitweilige Dürre und das langsame Austrocknen der Sümpfe an, in denen sie zu Hause waren. Sie besaßen Lungen, mit denen sie die Luft der Atmosphäre atmeten, und stämmige Flossen, auf denen sie sich wie auf Füßen auf dem festen Land fortbewegten. Die Skelette der Ichthyostegen stimmen in vielen Merkmalen mit denen der Rhipidistier überein. Besonders ähnlich ist die Anordnung der Schädelknochen.

Einige weitere Gesichtspunkte sind in diesem Zusammenhang von Interesse: Fische besitzen ein eigentümliches Organ, das sog. *Seitenlinienorgan* (es hat normalerweise die Form einer mehr oder weniger horizontalen Linie auf beiden Seiten des Fischkörpers), das aus einem Kanalsystem von in die Haut eingesenkten Sinnesorganen besteht und sich am Kopf vielfältig verzweigt. Dieses Seitenlinienorgan läßt den Fisch feinste Veränderungen im Fluß und Druck des sie umgebenden Wassers wahrnehmen. Dadurch vermag er Hindernissen auch in sandigem und verschmutztem Wasser, ja sogar bei jagendem Hin- und



Oben: Der Schädel eines Eusthenopteron, von oben gesehen. Dieses Tier war ein typischer Vertreter der Rhipidistier. Von allen bekannten Fischen des Devons stand er den Amphibien am nächsten.

Unten: Das Skelett eines heutigen Lungenfischs (Protopterus annectens) mit den paarigen Flossen, die wie lange Anhängsel geformt sind.



Am Ende des Devons verließen die Ichthyostegen – mit Fischkopf und Fischschwanz, aber auch mit Beinen ausgestattet – das Wasser. Diese Lebewesen konnten sich auf ihren bereits gut entwickelten Beinen auf dem Festland fortbewegen. Damit nahm die Eroberung des Festlands durch die Wirbeltiere ihren Anfang.

Fische besitzen ein besonderes Sinnesorgan, das Seitenlinienorgan, das meist als waagrechter Streifen an den Seiten, wie hier bei der abgebildeten Makrele (Scomber scombrus), zu erkennen ist. Auch die Ichthyostegen hatten ein Seitenlinienorgan.

Herflitzen zwischen zerklüfteten Felsen, sicher auszuweichen. Das Seitenlinienorgan ist ein für Wasserlebewesen typisches Organ. Wir finden es auch bei den Larven rezenter Amphibien und bei einigen Amphibien selbst, die, auch wenn sie ausgewachsen sind, das Wasser niemals verlassen. Dieses Organ wurde auch am Schädel der Ichthyostegen gefunden; vieles an ihm ähnelt dem entsprechenden Organ bei Fischen stärker als bei allen zeitgenössischen Amphibien.

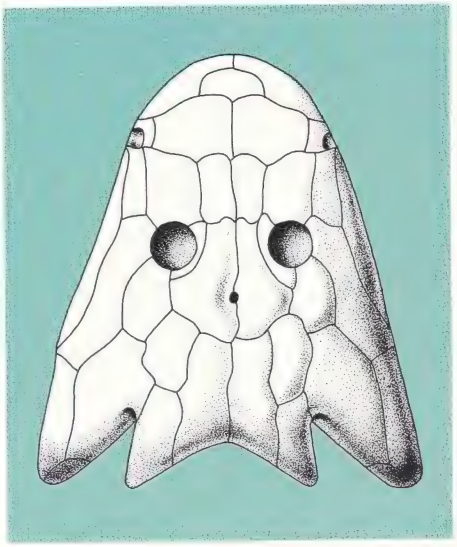
Die Grenzlinie zwischen Amphibien und Fischen

Die Ichthyostegen waren Lebewesen, die schwimmen konnten; daran gibt es keinen Zweifel. Sie lebten hauptsächlich im Wasser, wo sie sich schnell bewegten und den Schwanz als kräftigen „Propeller" benutzten. Die Füße legten sie beim Schwimmen nach hinten an. Als jedoch die Sümpfe, in denen sie lebten, allmählich von den Strahlen der unerbittlichen Sonne ausgetrocknet wurden, krochen sie aus dem Schlamm und bewegten sich auf ihren Füßen über die feuchte Erde auf der Suche nach günstigeren Lebensbedingungen fort.

Natürlich werden sie auch unter normalen Bedingungen ihre Füße benutzt haben; es gibt keinen Grund, warum sie dies nicht getan haben

sollten. Wahrscheinlich stiegen die Ichthyostegen aus dem Wasser, um nach Insekten, Tausendfüßern und Spinnentieren zu suchen. Solche Ausflüge ließen sich damals wie auch heute bei Sonnenuntergang leichter unternehmen. Denn zu dieser Tageszeit vermeidet ein Tier, das sich gewöhnlich im Wasser aufhält, eher die Gefahren des Austrocknens. Man kann sich übrigens leicht ausmalen, wie eindrucksvoll und bizarr diese großen Amphibien (sie waren etwa 1,20 m lang) vor dem flammenden Hintergrund einer untergehenden tropischen Sonne ausgesehen haben mögen, während um sie herum die kahlen Sandsteinfelsen die Farbe der Sonne annahmen; ein Bild, wie wir es auch heute im Grand Canyon erleben können.

All diese Lebenserscheinungen waren jedoch nicht auf Grönland begrenzt. Auch im Osten Kanadas fand man den unvollständig erhaltenen kleinen Schädel eines Lebewesens der Gattung *Elpistostega* in Schichtungen aus dem oberen Devon. Von diesem Lebewesen wissen wir nur wenig. Die spärlichen Daten, die wir besitzen, reichen jedoch aus, es den Ichthyostegen zuzuordnen. Auch Elpistostega besaß einen harten, kräftig gebauten Schädel mit ähnlicher Knochenanordnung. Seine Augenhöhlen waren jedoch kleiner und runder; hinter ihnen befand sich wie bei allen Ichthyostegen ein kleineres Loch, das Pinealloch. Erinnern wir uns an das Loch im Schädel von Cephalaspis aus dem fernen Silur vor 400 Millionen Jahren! Obwohl es uns fast unglaublich erscheint, überdauerte diese primitive Struktur, die ein Hilfsauge umschloß, mehrere Millionen Jahre und zahlreiche evolutionäre Mutationen. Das *Scheitel-* oder *Pinealauge* gibt es in einem Fall sogar heute noch, nämlich bei der Brückenechse.



Oben: Der Schädel von Elpistostega, einer Ichthyostegenart, die im oberen Devon in Ostkanada lebte.

Unten: Der Abdruck eines Amphibiums (Thinopus antiquus), der im vorigen Jahrhundert in Pennsylvanien gefunden wurde.

Spuren unbekannter Amphibien in Pennsylvanien

Der erste Mensch, der Spuren von Amphibien aus dem Devon entdeckte, war *Othniel Marsh,* ein bekannter amerikanischer Paläontologe des 19. Jahrhunderts. Für viele ist der Name Marsh mit den riesigen Brontosauriern verbunden, da er als erster den Beweis erbrachte, daß es diese unglaublichen Tiere wirklich gegeben hat. Er rekonstruierte auch als erster ein entsprechendes Skelett. Marsh machte aber auch viele andere Entdeckungen. Ein sehr wichtiger Fund wurde in einer devonischen Ablagerung in Pennsylvanien freigelegt: der isolierte Abdruck eines primitiven Fußes mit drei Zehen. Dieser Fund war von immenser Bedeutung, da die Wissenschaftler bis dato geglaubt hatten, die höher entwickelten Lebewesen des Devons seien ausschließlich Fische gewesen.

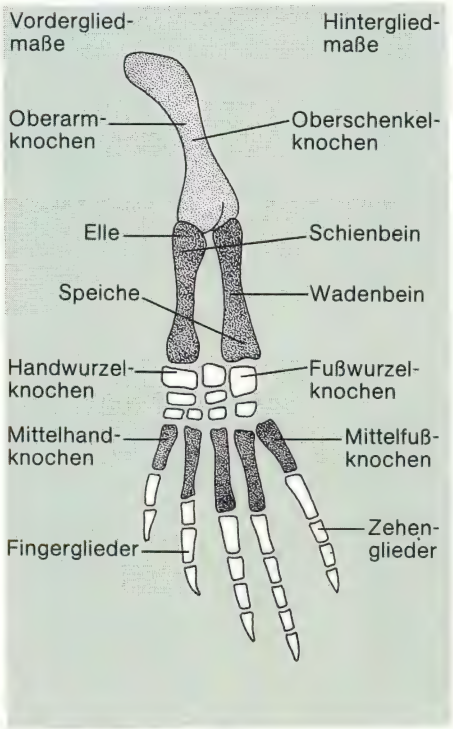
Der Abdruck, den Marsh entdeckte, stammte von einem Lebewesen mit dem wissenschaftlichen Namen *Thinopus antiquus.* Knochenreste von ihm wurden leider nicht gefunden, so daß sein Aufbau unbekannt blieb. Genaueres erfuhr man erst durch die Entdeckung der Ichthyostegen. Folgendes ist jedoch zu beachten: Der Fußabdruck von Thinopus wies drei Zehen auf; der Fuß von Ichthyostega dagegen hatte fünf Zehen. Dies bezeugt einen beträchtlichen Formenreichtum schon unter den ersten Amphibien. Die Fundstellen zeigen außerdem, daß sie über den ganzen nordamerikanischen Kontinent verbreitet waren. Das wiederum läßt den Schluß zu, daß eine weite Zeiträume überspannende evolutionäre Entwicklung vorausgegangen sein muß.

Am Ende des Devons hat sich also der erstaunliche Übergang vom Fisch zum Amphibium vollzogen. Erinnern wir uns an Eusthenopteron, den am besten entwickelten Vertreter der Rhipidistier! Wir haben früher

besprochen, wie er mühsam auf seinen Flossen zwischen allmählich austrocknenden Wasserlöchern umherhumpelte. An seiner Stelle finden wir jetzt Lebewesen mit bereits vollständig entwickelten Füßen, die imstande waren, ohne besondere Schwierigkeiten die Strecke von einem Sumpf zum anderen zurückzulegen. Wir wissen heute noch nicht genau, wie dieser Evolutionsschritt vor sich gegangen ist, aber die Tatsache, daß er stattgefunden hat, ist nicht zu leugnen. Die Wissenschaftler haben sich mit sehr unterschiedlichen Theorien auseinandergesetzt und sind schließlich zu dem Ergebnis gekommen, daß sich im Devon zwei Gruppen von Rhipidistiern zu Amphibien entwickelt haben. Die Folge dieser evolutionären Komplikation wird uns sehr bald beschäftigen. Dabei wird erkennbar werden, wie sich aus ihr heraus eine außerordentliche Vielfalt seltsamer Lebewesen entwickelt hat.

Das Skelett der Vierfüßer

Um die Welt der prähistorischen Wirbeltiere zu verstehen, müssen wir uns mit einigen Einzelheiten ihres Skeletts vertraut machen. Diese Eigenschaften haben einschließlich des Menschen alle Wirbeltiere, die höher entwickelt sind als Fische, gemeinsam. Sie betreffen hauptsächlich die Beine bzw. die Arme. Zunächst ist von der fundamentalen Veränderung zu reden, die durch den Übergang vom Fisch zum



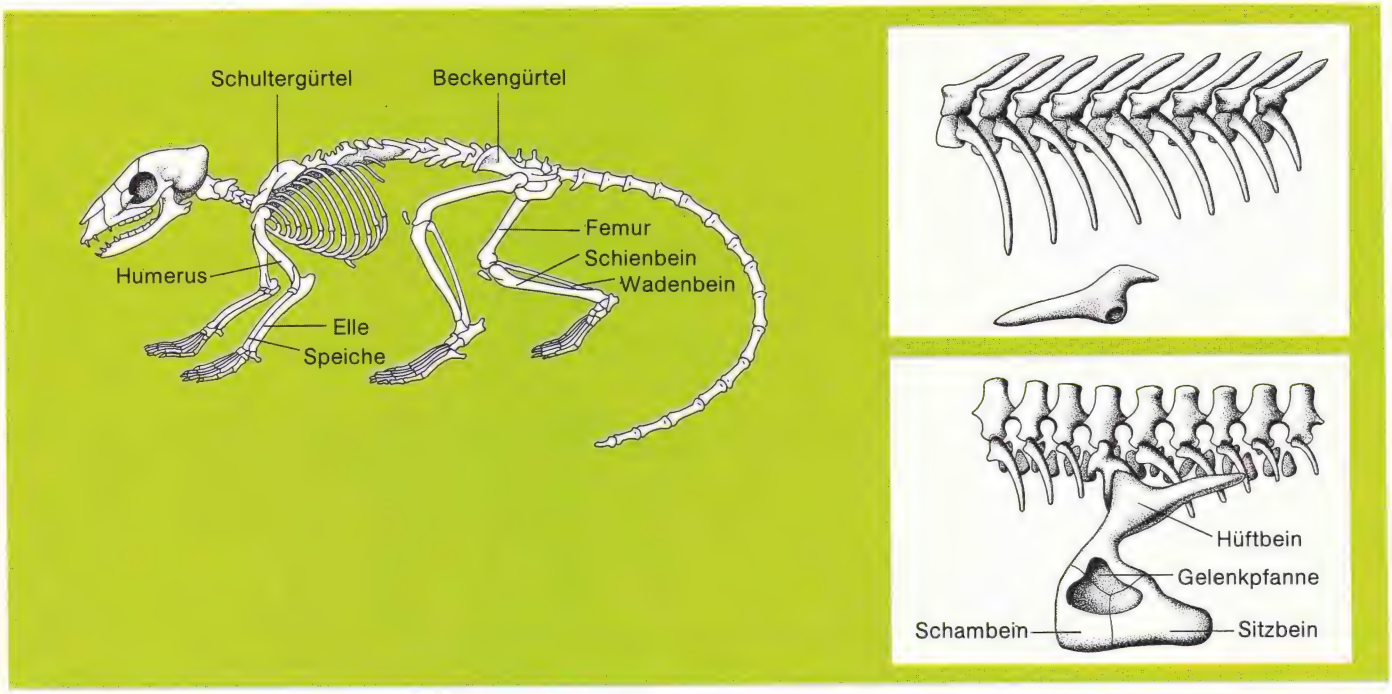
Oben: Schematische Darstellung des Gliedmaßenskeletts eines Tetrapoden. Obwohl die Bezeichnungen für die Vorder- und Hinterfüße verschieden sind, stimmen die Knochen überein. Links sind die Vorderfußknochen, rechts die Hinterfußknochen genannt.

Amphibium in die Welt kam: der Entwicklung von Füßen als Weiterbildung der Flossen. Amphibien haben vier Füße und werden darum *Tetrapoden (Vierfüßer)* genannt. Allerdings sind auch die über diese Stufe hinaus weiterentwickelten Arten von Wirbeltieren Tetrapoden, da sie die gleiche Anzahl von Füßen haben. Unter Tetrapoden versteht man darum alle Wirbeltiere außer den Fischen.

Beim *Fisch* dienen diejenigen Flossen, die den Beinen der Tetrapoden entsprechen, nicht zur schnelleren Fortbewegung; dafür ist der Schwanz zuständig. Die *Flossen* dienen hauptsächlich als Gleichgewichtshilfen. Sie sind entweder nur unvollständig mit anderen Teilen des Skeletts verbunden oder überhaupt nicht. Bei den Tetrapoden hingegen ermöglichen die *Gliedmaßen* die Fortbewegung und bilden auch die notwendige Stütze für den Körper. Die Gliedmaßen sind mit zwei Knochengürteln gelenkig verbunden: dem Schultergürtel und dem Beckengürtel. Der *Beckengürtel* ist direkt mit der Wirbelsäule, der *Schultergürtel* durch das Schlüsselbein mit dem Brustbein verbunden, an dem auch die Rippen teilweise befestigt sind. Der Schultergürtel bildet mit dem Vorderbein- oder Armskelett, der Beckengürtel mit dem Hinterbein- bzw. Beinskelett einen Verbund.

Die Gliedmaßen sind ähnlich zusammengesetzt. Die Knochen der Vorderbeine entsprechen denen der Hinterbeine, obgleich natürlich die

Im Laufe eines langsamen Entwicklungsprozesses haben sich die Flossen der primitiven Fische in die Gliedmaßen der heutigen Tetrapoden umgewandelt. Aufnahme einer Herde von Gnus, die über die Serengeti-Ebene laufen. Diese Pflanzenfresser der Savanne leben in großen Herden zusammen, wodurch jedes einzelne Mitglied von der vereinten Wachsamkeit der Herde profitiert und die Chancen, den Raubtieren zu entkommen, sich vergrößern.



Bezeichnungen anders sind. Jede Gliedmaße enthält einen langen Knochen, gefolgt von zwei langen, aber schlankeren Knochen, die nebeneinanderliegen, und endet in einer Zahl von kleineren Knochen verschiedener Größe. Als Beispiel sei der Arm oder die Vordergliedmaße des Menschen genannt: Der erste Knochen ist der Oberarmknochen, gefolgt von Elle und Speiche; dann folgen die Handwurzelknochen im Handgelenk und zuletzt die Mittelhandknochen und Fingerknochen.

Von den Fischflossen zu den Gliedmaßen der Tetrapoden

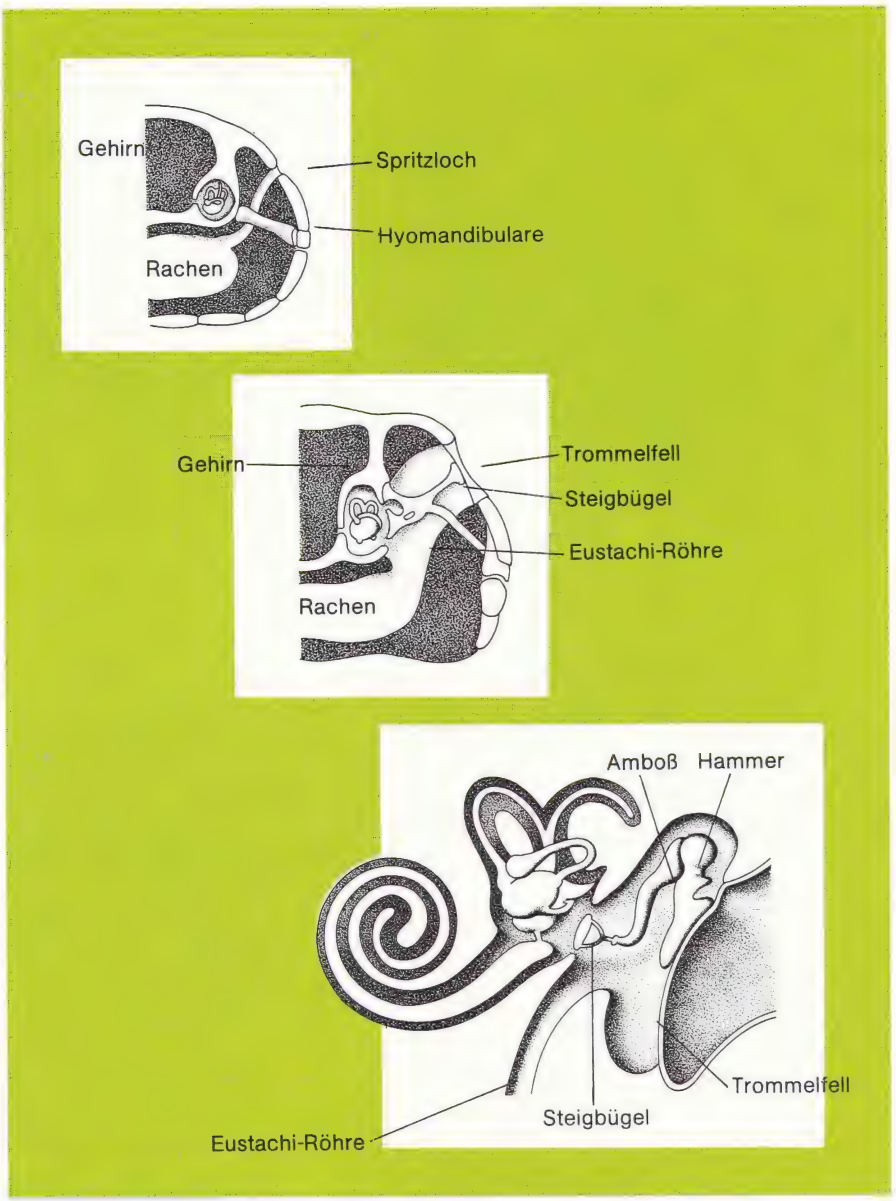
Oben links: Das Skelett eines Spitzhörnchens (Tupaja), eines primitiven Säugetiers. Hier sehen wir die charakteristische Struktur der Tetrapoden: die zwei Knochengürtel (Becken- und Schultergürtel) und die vier mit ihnen verbundenen Gliedmaßen, die im Grunde alle die gleiche Struktur aufweisen.

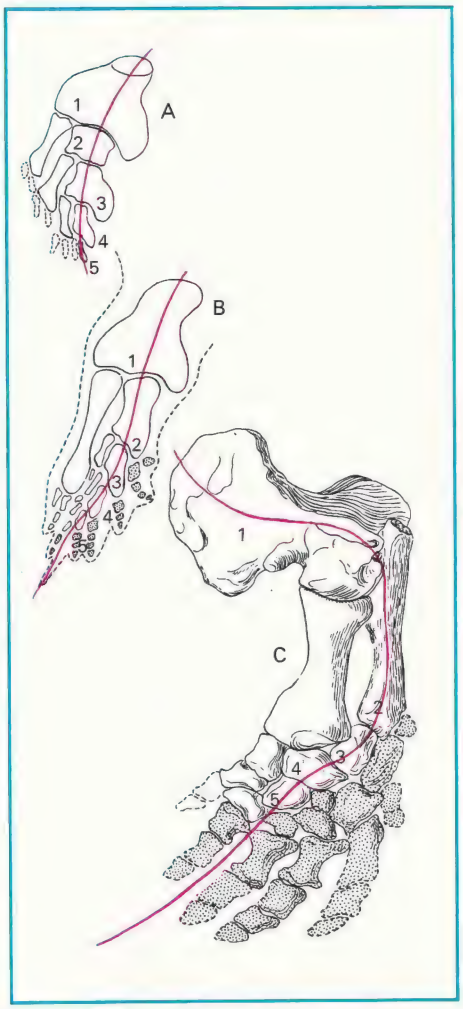
Oben rechts: Die Entwicklung des Beckengürtels vom Fisch (oben) zum Amphibium (unten). Beim Fisch ist der Gürtel sehr einfach gebaut und nicht mit dem Rückgrat verbunden. Bei den Amphibien ist er am Rückgrat befestigt und besteht aus mehreren Knochen, die auch bei den höheren Wirbeltieren zu finden sind.

All dies hat allgemeinere Bedeutung. Über den Menschen hinaus bezieht es sich auch auf diejenigen Wirbeltiere, die nur zwei Füße oder gar keine haben. Das erste Beispiel dieser Art sind die *Vögel*. Sie haben an ihrem Körper vorn Flügel statt Füße. Aber ihre Flügel sind natürlich nichts weiter als umgebildete Füße, auf denen ihre Vorfahren der Urzeit noch sicher auf dem festen Boden gestanden hatten.

Das zweite Beispiel bieten die *Schlangen* (die keine Füße haben) und der *Wal* (der Flossen besitzt). Auch hier handelt es sich um Fälle einer über unendliche Zeitspannen hin vollzogenen Anpassung. Alle zeitgenössischen Vierfüßer (Tetrapoden), welche Form auch immer sie angenommen haben mögen, stammen letztlich von Vorfahren mit vier Gliedmaßen ab.

Es ist also leicht einzusehen, daß und wie das Auftauchen der ersten Amphibien dazu geführt hat, ein wirklich grundlegendes funktionsfähiges Knochengerüst zu entwickeln. Die Art, in der dieses Gerüst sich gebildet hat, bezeugt jenen erstaunlichen Mechanismus voll unglaublich komplexer Vorgänge, den wir *Evolution* nennen. Der vorhergehende Band zeigte uns bereits, daß schon die fleischigen Flossen des





Eusthenopteron Knochen enthielten, die denen höher entwickelter Wirbeltiere entsprachen. Diese und ähnliche Flossen der Rhipidistier waren das Ausgangsmaterial der genetischen Variationen und der erbarmungslosen Selektionsprozesse unter den extremen Umweltbedingungen austrocknender Sümpfe und Wasserstellen, die schließlich das Wunder bewirkten. Auf den ersten Blick mag es scheinen, als sei das Skelett der Vorderflossen von Eusthenopteron aus kaum gegliederten und kaum gestalteten Knochen zusammengesetzt; dennoch waren jene Knochen die Vorformen und Entsprechungen der langen, schlanken Knochen unserer Arme sowie der kürzeren in unseren Handgelenken. Wissenschaftlich ist dies zweifelsfrei erwiesen. Zu diesem Ergebnis führten Untersuchungen der Vorderfüße einer Reihe von urtümlichen Amphibien, die näher mit den Rhipidistiern verwandt sind.

Oben links: Die Entwicklung des Ohrs vom Fisch (A) über das der primitiven Amphibien (B) bis zu dem der auf dem Land lebenden Wirbeltiere (C).

Oben rechts: Die Entwicklung des Vorderbeins von der Flosse des Eusthenopteron (A) bis zum Fuß eines Eryops (C). B stellt die hypothetische Übergangsform dar.

Die Entwicklung des Ohrs bei den Amphibien

Auch die Struktur des Ohrs der Amphibien hat sich durch die Evolutionsprozesse so verändert, daß sie, verglichen mit dem Ohr der Fische, eigentlich als abnorm gelten müßte; sie war für ein Leben im Wasser nicht mehr geeignet. Auf dem Land jedoch konnten die Tiere dank dieser Veränderungen jetzt Geräusche wahrnehmen, die von der viel dünneren Luft übertragen wurden.

Betrachten wir den Bau des *Ohrs beim Säugetier.* Der wesentliche Teil ist das Innenohr, in dem zwei sehr wichtige Organe miteinander verbunden sind: das eigentliche Hörorgan (die Schnecke) und das Gleichgewichtsorgan (mit den Bogengängen). Das Innenohr ist durch zwei straff gespannte Membranen, ovales und rundes Fenster, vom Mittelohr (Paukenhöhle) getrennt. Das Mittelohr enthält die drei Gehörknöchelchen, Hammer, Amboß und Steigbügel, von denen der Steigbügel am ovalen Fenster und der Hammer am Trommelfell ansetzen. Vom Trommelfell führt ein leicht gebogener Gang, der äußere Gehörgang, nach außen. Gelangen Schallwellen von außen auf das Trommelfell, vibriert es. Die Vibrationen werden auf die gelenkig miteinander verbundenen Gehörknöchelchen übertragen; diese leiten die Vibrationen zum Innenohr weiter, welches das Geräusch mit seinen Hörsinneszellen wahrnehmen kann.

Bei den *Fischen,* die entwicklungsmäßig den Amphibien vorausgingen (auch bei den heutigen Fischen), gab es nur das innere Ohr, das, obwohl von sehr einfachem Bau, imstande war, Schwingungen im Wasser wahrzunehmen. In der Nähe des inneren Ohrs, jedoch von diesem getrennt, befand sich ein Gang, der vom Rachenraum bis zu einer Außenöffnung (dem Spritzloch) reichte, was beim heutigen Hai besonders gut zu erkennen ist.

Bei den *Amphibien,* die darauf angewiesen waren, auch außerhalb des Wassers Geräusche wahrzunehmen, fanden wichtige Veränderungen statt: Im Laufe der Zeit entwickelte sich eine schwingungsfähige Membran, das *Trommelfell,* das sich über die Außenöffnung spannte. Die Schwingungen des Trommelfells, die von Schallwellen erzeugt wurden, wurden über eine Art Knochenbrücke (ein Gehörknöchelchen, das sich aus einem Kiefergelenkknochen des Fischs entwickelt hatte) an das Innenohr weitergeleitet. Diese primitive Brücke wurde im Verlaufe der Evolution erheblich verfeinert. Heute entspricht sie dem *Steigbügel,* einem der drei kleinen Gehörknöchelchen in unserem Ohr.

Grenzen der Amphibien als Landtiere

Als Folge der Übersiedlung der Wirbeltiere vom Wasser auf das feste Land fanden viele grundlegende Veränderungen statt. Außer gelenkigen Gliedmaßen, Zehen und funktionsfähigen, dem Landleben angepaßten Gehörorganen entwickelten sich bei den Amphibien auch die Lungen weiter, während die Kiemen verkümmerten. Sogar die Augen gestalteten sich um, damit die Tiere außerhalb des Wassers sehen konnten. Trotzdem waren die Amphibien immer noch auf das Wasser angewiesen. Wie ihre Vorgänger brauchten sie dieses Element, um sich darin zu vermehren. Diese Tatsache stellte für die Lurche eine unüberwindbare Barriere dar. Jahrmillionen später befindet sich das heutige Amphibium noch immer in derselben Lage.

Ein geeignetes Beispiel für unsere Geschichte ist der *Frosch.* Er legt zur Fortpflanzung seine Eier *(Laich)* in großen Mengen im Wasser ab. Die Froscheier haben keine harte Schale und würden deshalb an Land austrocknen; das Wasser ist für sie, wie auch für die Fischeier, das

Oben und auf der rechten Seite: Die Geburtshelferkröte (Alytes obstetricans) mit bzw. ohne Eier (Laich).

1

2

Entwicklungsphasen des Grasfroschs (Rana temporaria): (1) Eier mit Embryonen, die sich innerhalb der gallertartigen Schutzhülle bilden. (2) Kleiner Embryo, bei dem bereits Kopf und Schwanz zu erkennen sind. (3) Kaulquappe mit äußeren Kiemen und einem langen Ruderschwanz. (4) Ausgewachsene Kaulquappe mit Beinen. (5) Die Kaulquappe hat sich schon in einen Frosch verwandelt und das Wasser verlassen; die Beine sind gut entwickelt, aber ein Stummelschwanz ist noch verblieben. (6) Ausgewachsener Frosch, der fast völlig ohne Wasser auskommen kann. Dieser Frosch kehrt nur ins Wasser zurück, um sich fortzupflanzen und den Laich abzulegen.

natürliche Element. Die ausschlüpfenden *Larven* haben zuerst weder Füße noch Schwanz. Sie atmen durch die Haut. Aber bald darauf entwickeln sich sowohl ein Ruderschwanz mit Flossensaum, der wie ein Fischschwanz funktioniert, als auch Kiemen (zuerst die äußeren, dann die inneren), die beide als Atmungsorgane dienen. Jetzt sind die Larven *Kaulquappen* geworden mit ihrer charakteristischen Erscheinung und Schwimmart. Später bilden sich Beine und Lungen, während Kiemen und Ruderschwanz verschwinden. Die jungen Frösche verlassen dann das Wasser auf der Suche nach Insekten, von denen sie sich ernähren. Beim ersten Anzeichen einer drohenden Gefahr springen sie jedoch wieder in ihre Teiche und Seen.

In dieser Verwandlung oder *Metamorphose* erkennen wir die Urgeschichte des Amphibiums wieder, das zuerst ein Fisch war und sich allmählich zu einem auf dem festen Land lebenden Tier entwickelte. Das Ablegen der Eier und die darauffolgende Entwicklungsphase der Jungtiere unserer heutigen *Lurche* im Wasser ist nichts Neues, sondern eine atavistische Eigenart, die durch Jahrmillionen hindurch erhalten geblieben ist.

3

4

5

6

Einige Lurcharten haben versucht, sich von ihrer Wasserabhängigkeit zu befreien. So verwandeln sich bei manchen Salamandern die Larven noch im Mutterleib und werden als voll entwickelte Jungtiere geboren. – Gewisse Kröten, z. B. die Geburtshelferkröte, legen ihre Eier nicht im Wasser ab. Das Männchen trägt sie vielmehr so lange an den Hinterbeinen mit sich herum, bis sie soweit sind, daß die Jungen im Teich schlüpfen können. Ein extremes Beispiel ist die *Pipakröte (Wabenkröte)* in Südamerika, deren Nachwuchs in kleinen, eigens hierfür gebildeten Zellen auf dem Rücken der Mutter zu vollständig entwickelten Tieren heranreift.

Amphibien benötigen eine feuchte Umgebung. Ihre Haut ist mit Schleim bedeckt, der sie elastisch und gut durchfeuchtet hält. Trotz ihrer Versuche, sich auf dem festen Land durchzusetzen, sind sie vorwiegend Wassertiere geblieben. Die Entwicklung der Ichthyostegen im oberen Devon war nur ein erster Schritt in der allmählichen Entwicklung der Landwirbeltiere.

oberes Karbon
mittleres Karbon
unteres Karbon
Karbonschichten

Die Wälder im Karbon

Das Zeitalter der großen Steinkohlenablagerungen

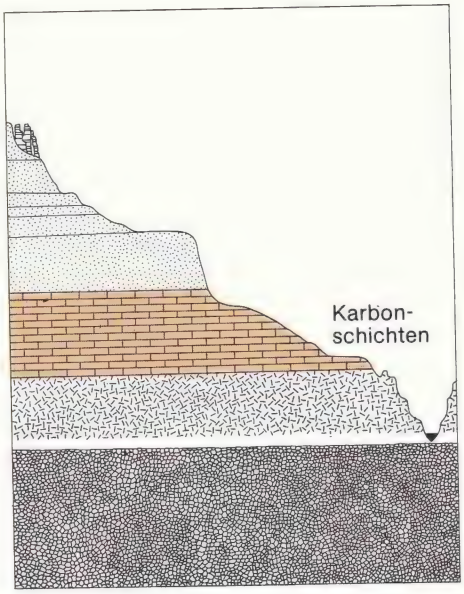
Mit dem Ende des Devons vor etwa 345 Millionen Jahren begann eine Periode in der Erdgeschichte, deren Schichtungen die größten Kohlenvorkommen auf der Erde enthalten. Dieses *Karbon* genannte Erdzeitalter dauerte rund 65 Millionen Jahre, eine Zeitspanne in der sich mancherlei Erstaunliches ereignete: Es bildeten sich viele neue Gebirgszüge, die polaren Eiskappen verschoben sich abermals und, das Bemerkenswerteste von allem, die Kontinente bekamen ein grünes Pflanzenkleid. Für die verschiedenen Formen des Lebens auf der Erde war es wichtig, daß unser Planet nun nicht mehr die alarmierenden Gleichgewichtssprünge zeigte, die alle vorhergehenden Zeitalter gekennzeichnet hatten. So breitete sich das Leben, außer in den Wüsten, überall aus, ja sogar Frostregionen und die höchsten Berge wurden bevölkert.

In der majestätischsten aller Schluchten, die die Erosion je hervorgebracht hat, dem Grand Canyon (im USA-Staat Arizona), flankieren steil aufgetürmte Felswände die gelben Wasser des Colorado-Flusses und enthüllen in ihren Schichtungen die Ablagerungen aus der Zeit des Karbons. Dies ist die berühmteste Landschaft der Erde. Aber nicht nur hier, sondern über ganz Nordamerika hin gibt es überreiche Zeugnisse aus dem Karbon: Reichtum an Kohle und wohlerhaltene Fossilien von Organismen aus dieser Periode.

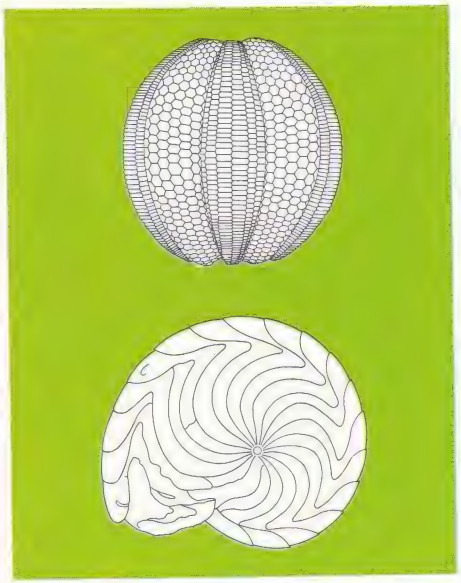
Auf Grund dieser Funde konnten amerikanische Geologen den ganzen Zeitabschnitt in zwei kleinere Perioden untergliedern. Die erste oder Mississippi-Periode *(Mississippian)* – von vor 345 bis 310 Millionen Jahren – verbirgt in ihren Gesteinsschichten einige wunderbare marine Fossilien. Die zweite oder Pennsylvanien-Periode *(Pennsylvanian)* umschließt die Zeit von vor 310 bis 280 Millionen Jahren und ist gekennzeichnet durch riesige Kohlenlager. Eine solch genaue Unterteilung ist in anderen Erdteilen nicht möglich, obwohl in anderen Gebieten das Mississippian dem unteren Karbon und das Pennsylvanian dem oberen Karbon entsprechen.

Im Karbon bildete sich über längere Zeit hin *Pangäa,* der große Einzelkontinent, der bereits in den beiden ersten Bänden dieser Serie besprochen wurde, und gewann schließlich seine endgültige Form.

Lebensformen im Karbon. Die Pflanzenwelt besteht aus gigantischen Farnpflanzen: Bärlappgewächse, Schachtelhalmgewächse und Schuppenbäume. In der Tierwelt sind die im Meer lebenden Arten stark vertreten: Korallen, Krinoiden (Seelilien) und andere Stachelhäuter, Kopffüßer und Fische. Auf dem Festland breiten sich die Gliederfüßer, die Amphibien und erste Formen der Reptilien aus.



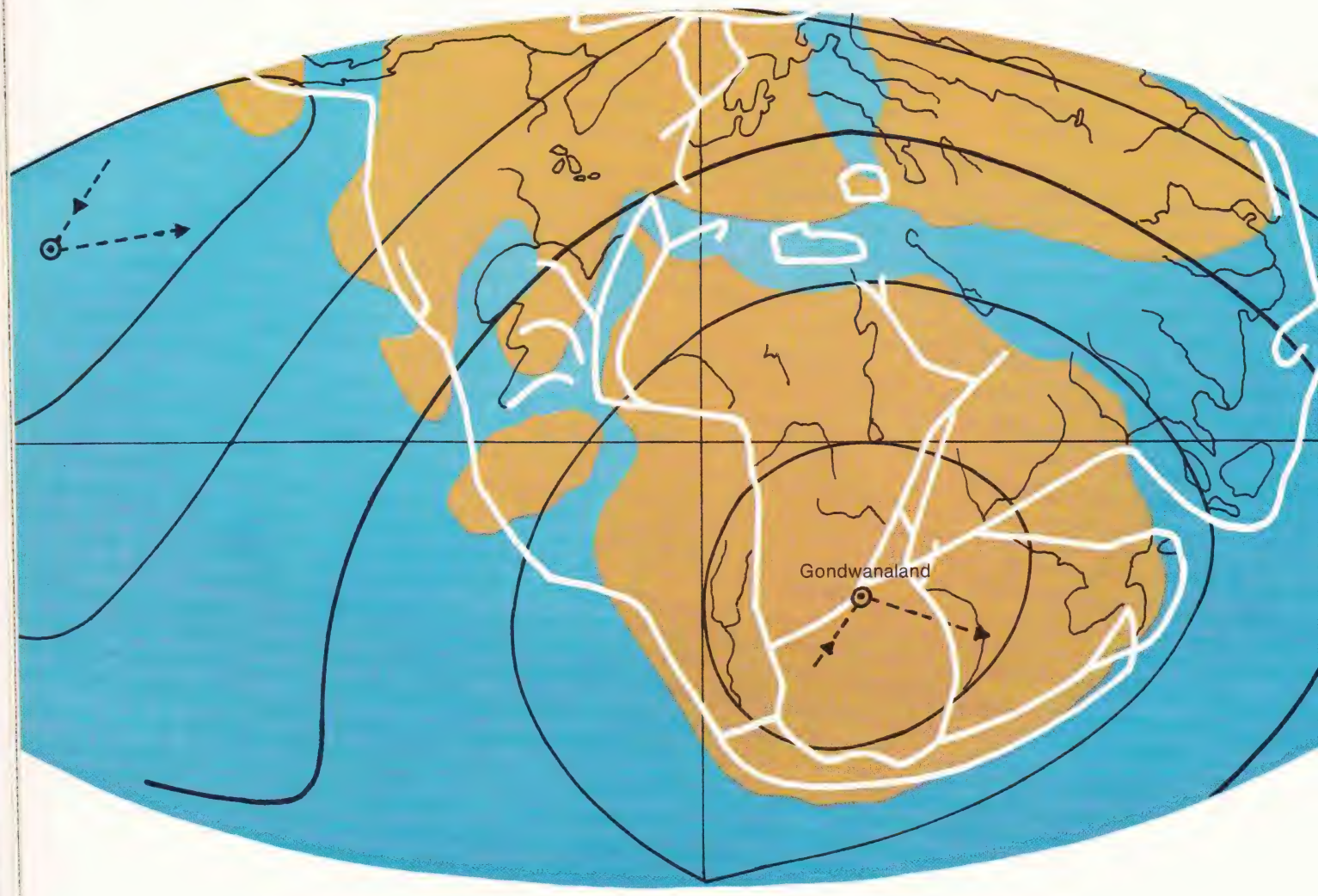
Der Grand Canyon: Hier hat der Colorado eine tiefe Rinne in die Hochtäler von Arizona eingeschnitten und dadurch die übereinanderliegenden, z. T. uralten Gesteinsschichten, aus denen das umliegende Land aufgebaut ist, freigelegt. Der Canyon ist 8–24 km breit und hat eine durchschnittliche Tiefe von 1 400 m. Der Colorado hat das Land langsam über eine Zeitspanne von Millionen von Jahren erodiert und sich dabei durch Felsen gefressen, die im Präkambrium und durch das ganze Paläozoikum hindurch abgelagert wurden. Die Ablagerungen aus dem Karbon sind unter all diesen freigelegten Gesteinsschichten besonders interessant (obere Skizze), z. B. ein gewaltiger Block von Kalkstein, der hohe senkrechte Wände bildet und Redwall-Kalkstein genannt wird. Dieses erstaunliche Gebilde ist über 300 Millionen Jahre alt.



Schon in der weit zurückliegenden ordovizischen Periode hatten die südlichen Erdteile einen geschlossenen Block gebildet, wohingegen im Norden der Ozean die verbliebenen Erdteile über weite Flächen hin aufsplitterte. Diese Meeresbereiche verschwanden jetzt nach und nach, da sich die kontinentalen Blöcke aufeinander zu bewegten. Dies betrifft besonders den Nordatlantik, der zwischen Nordamerika und Europa immer stärker zurückging. Man kann sagen, daß die Erdkruste sich setzte; und dieser Vorgang war im Karbon sehr weit fortgeschritten.

Geologen lokalisieren für das Karbon den Südpol in das Gebiet von Südafrika. Der Nordpol lag damals im Pazifik, während der Äquator einigermaßen nördliche Regionen des Kontinents Pangäa kreuzte, etwa auf der Linie der heutigen Landmassen von Nordamerika, Nordeuropa, Rußland und China.

Das Klima war in der vollen Breite eines Gürtels südlich und nördlich dieser Linie tropisch, und es entwickelten sich wundervolle Wälder in einer Landschaft, die durch ein überwältigendes, geradezu explosives Wachstum in den Sümpfen gekennzeichnet war. Durch die Kohle erwachen diese Wälder in unseren heutigen Bergwerken zu neuem Leben.



Das Leben in den karbonischen Wäldern

Stellen wir uns einen Augenblick lang vor, wir stünden über den Schichtungen eines freigelegten pennsylvanischen Bergwerks. Plötzlich wie durch Zauberhand werden wir in eine Zeit von vor 300 Millionen Jahren zurückversetzt. Wir sehen nicht mehr die Fördertürme über den Bergwerksschächten, die Waschanlagen und Kraftwerke. Statt dessen erstreckt sich vor uns eine neblige Landschaft, mit Lagunen voll trüben Wassers übersät. Aus dem Wasser ragen gewaltige Bäume von ungewöhnlicher Form empor, die in großen Gruppen, fast zusammengedrängt, wachsen. Manche von ihnen ragen etliche Meter hoch, bevor sie sich wie phantastische Säulen verzweigen. Ihre Stämme sind mit zahllosen seltsamen Mustern dekoriert, die sich in vollkommener Gleichförmigkeit wiederholen. Bei anderen öffnen sich, fast in Bodenhöhe, fächerähnliche Zweige, die den Raum zwischen Säule und Säule, zwischen Stamm und Stamm füllen. Im Unterholz wachsen riesige Farne und andere kleinere Pflanzen übereinander, die teilweise im Schlamm der Sümpfe begraben sind. Hoch über allem lastet ein unbeweglicher, von Nebel verhüllter und von einer glühenden Sonne beherrschter, bleierner Himmel.

Linke Seite, oben: Beispiele von Fossilien, die in Kalksteinlagen aus dem Mississippian in den Zentralgebieten der USA gefunden wurden; obere Skizze: Melonites multipora, ein entfernter Verwandter des heutigen Seeigels; untere Skizze: Der Ammonit Imitoceras.

Linke Seite, unten: Die Verteilung der Meere und der Kontinente gegen Ende des Karbons.

Die Ausgrabungen von Schichtungen des Pennsylvanians in den Bergwerken aus Deutschland haben riesige Mengen von Pflanzenfossilien, oft erstaunlich gut erhalten, ans Licht gebracht. Abgebildet sind die vollkommen versteinerten Farnwedel von Sphaenopteris. Diese Pflanze, die dem heutigen Farn in jeder Hinsicht ähnelt, pflanzte sich durch Samen fort; sie war ein Samenfarn.

Kein Laut dringt zu uns herauf aus diesem unregelmäßigen Säulenwald, der sich in den schwarzen Gewässern der Sümpfe spiegelt, in denen riesige gestürzte Baumstämme verfaulen. In diesem Karbonwald gibt es noch kein Vogelgezwitscher und noch kein Gekreische von Affen wie in den heutigen Tropenwäldern. Gleichwohl herrschte in dieser üppigen Vegetation nicht etwa eine absolute Stille. Der erste Eindruck trog vielmehr, bedingt durch die Entfernung des fiktiven Beobachterstandorts. Beim Näherkommen würden wir aus den Bäumen, aus der Rinde und den Ästen, ein seltsames, unheimlich anmutendes, anhaltendes polyphones Summen vernehmen – die Lautäußerungen emsiger Insektenvölker von ungeahnter Vielfalt, die einen lebhaften Kontrast zu den reglosen Pflanzen des Karbonwaldes bildeten.

Von den ersten Landpflanzen zu den Waldriesen

Nachdem sie sich nur langsam und mühevoll von einem Leben im Wasser getrennt hatten, um sich auch auf dem festen Land durchzusetzen, machten die Pflanzen im Devon eine außerordentliche Evolution durch. Sie entwickelten sowohl leistungsfähige innere Gefäßsysteme, in denen Säfte und Wasser zirkulieren konnten, als auch Zweige, Blätter und neuartige Wurzelsysteme, die, da sie tief in den Boden eindrangen, die Pflanzen fester verankerten.

Am Anfang war der Fortpflanzungszyklus dieser Pflanzen immer noch vom Wasser abhängig, d. h., die abwechselnde Produktion von sporenerzeugenden Pflanzen *(Sporophyten)* und von Geschlechtspflanzen *(Gametophyten),* die männliche und weibliche Zellen trugen, konnte nur im Wasser oder auf sehr feuchtem Boden stattfinden. Mit der Zeit aber setzten sich die Sporophyten durch. Auf diese Weise wurden die Pflanzen viel stärker wasserunabhängig und waren nicht mehr unbedingt an die Lagunen und Sümpfe gebunden.

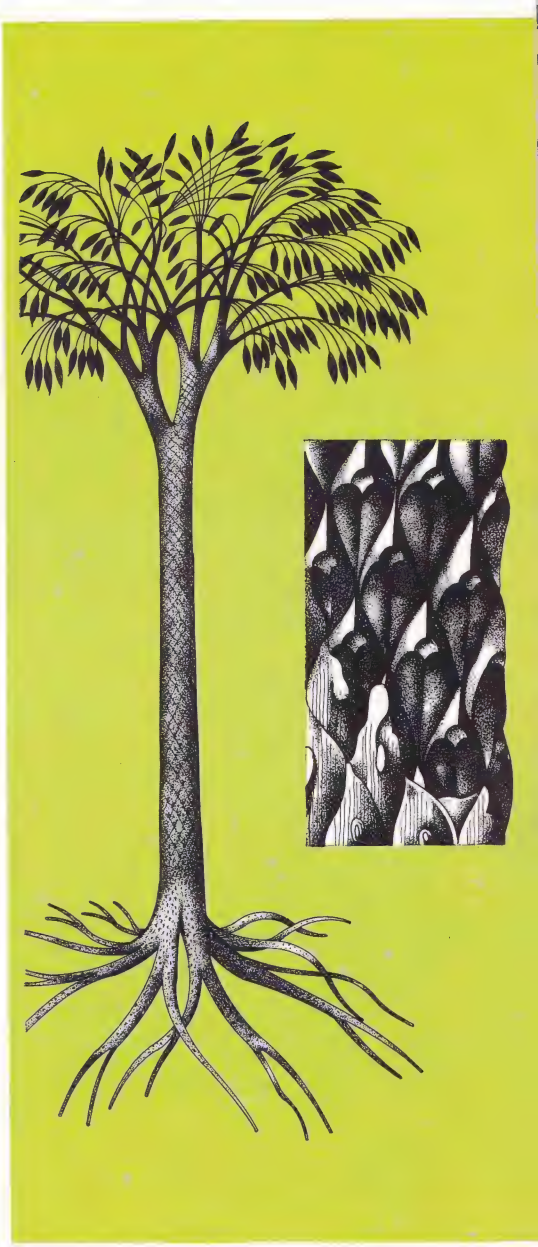
Bei vielen Pflanzen hatten die Gametophyten ihre ehemalige Selbständigkeit verloren und waren zu Übergangsorganen auf den Sporophyten geworden. Zu diesem Zeitpunkt entstanden Pflanzen, die sich durch Samen fortpflanzten. Manche verließen den sumpfigen Erdboden und siedelten sich in höher gelegenen Gebieten an – auf Hügeln und Berghängen. Überall begannen sie zu wachsen und zu gedeihen, so daß am Ende des Devons der Weg zum heutigen Pflanzenreich bereits beschritten war.

Im Karbon fand eine explosive Vermehrung von Pflanzenarten statt. Es gab eine Fülle von verschiedenen Formen und Größen, die von der devonischen Flora her nicht vorauszusehen war. In der für das Karbon typischen Mischung von stehenden Gewässern, Schlammboden und Morast fanden viele Pflanzen, die sich noch durch Generationswechsel, Sporophyten, gefolgt von Gametophyten, fortpflanzten, geradezu ideale Lebensbedingungen. Tausende von Pflanzenarten siedelten sich hier an, und es entstanden endlose Wälder, die zum größten Teil immer noch aus primitiveren Pflanzenformen zusammengesetzt waren, obwohl es mittlerweile auch schon eine ansehnliche Zahl von Pflanzen gab, die sich durch Samen fortpflanzten.

Die *Farnpflanzen (Pteridophyten)* übernahmen die genetischen Eigenschaften der *Nacktfarne (Psilophyten)* und brachten Waldriesen hervor. In diesen Zeiten waren Pflanzen, die heute nur grashoch wachsen (manchmal gehören sie zu den bescheidensten Pflanzenarten, die nur ein paar Zentimeter hoch sind), durch Bäume vertreten, die so

Rechte Seite, links: Eine hübsche Pflanzenversteinerung aus dem Karbon: der Zweig eines Samenfarns (Neuropteris gigantea) aus Schichtungen in Dudley, England.

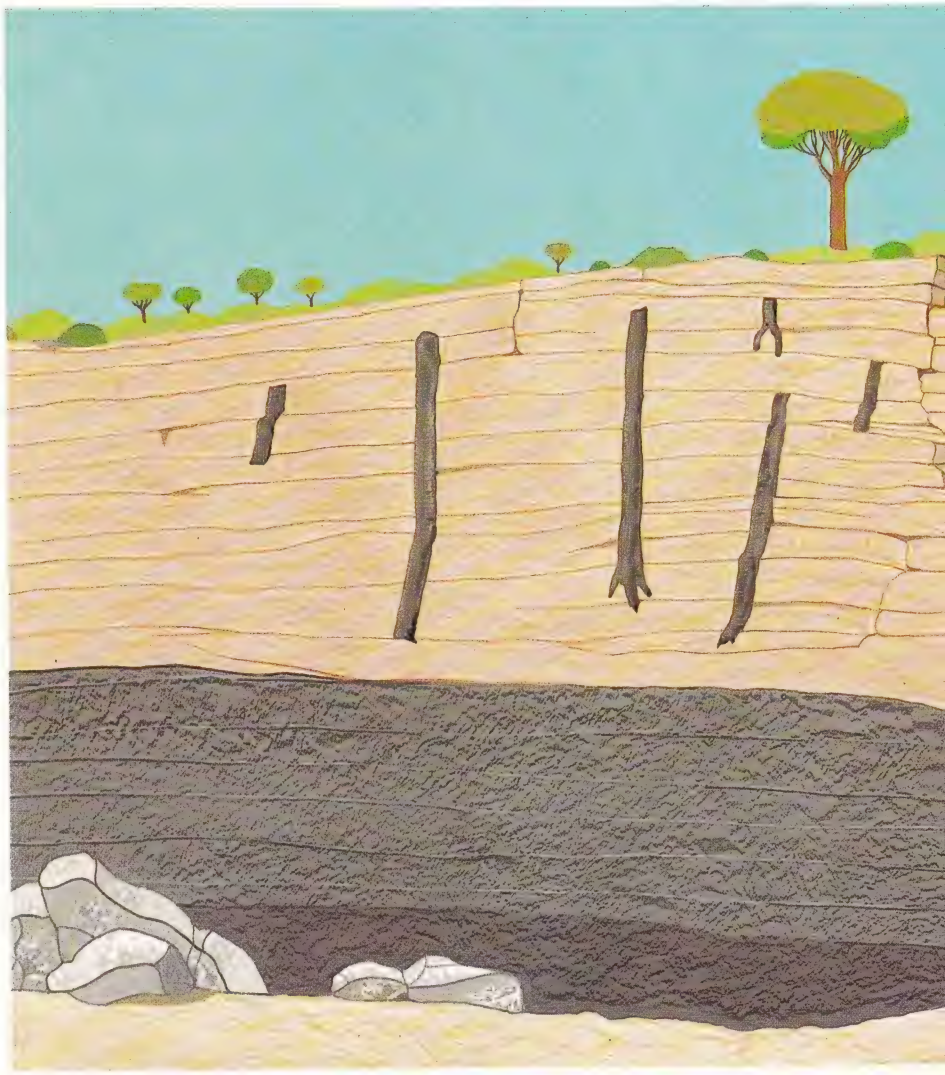
Rechte Seite, rechts: Rekonstruktion eines Schuppenbaums aus dem Karbon; daneben Oberflächendetail der Blattnarben am Stamm.



groß wie mehrstöckige Gebäude waren. Man kann sich leicht vorstellen, wie verblüfft die Wissenschaftler waren, als sie im 19. Jahrhundert in Karbonschichtungen überall auf Fossilienreste von Riesenbäumen stießen und entdeckten, daß diese mit ganz unscheinbaren und unbedeutenden Pflanzen von heute verwandt waren.

Die Riesen des Karbons

Es gibt eine Klasse der Pteridophyten, die *Lycopsida* genannt wird und zu der heutzutage so unscheinbare Pflanzen wie der *Bärlapp* gehören, der eine Höhe von 5 bis 10 cm erreicht. Solche Pflanzen sind die sehr bescheidenen Nachkommen einer längst verschwundenen Pracht. Ihre größeren Verwandten im Karbon, die *Schuppenbäume* oder *Lepido-*



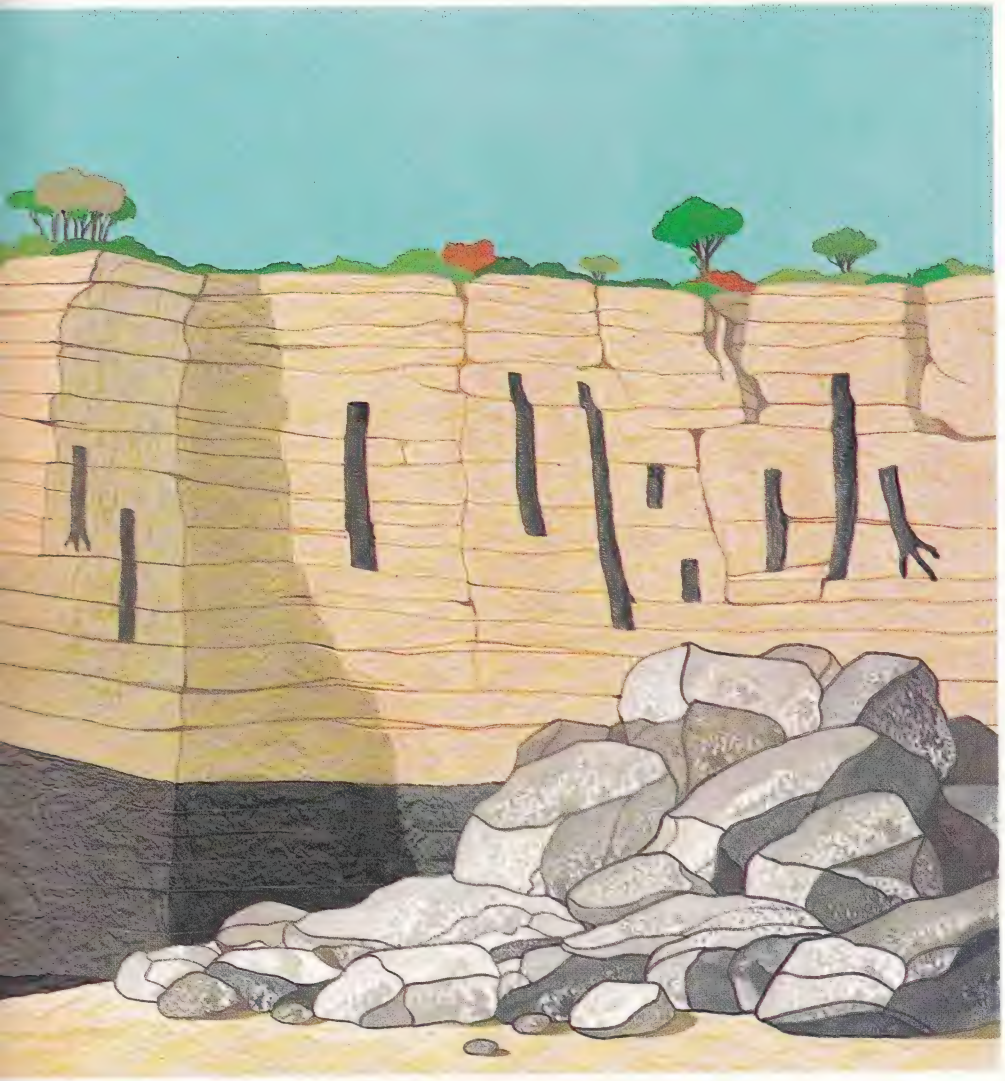
Oben: Fragment des Stamms eines Siegelbaums aus Karbonschichtungen in Belgien. Die rötliche Färbung ist durch die Anwesenheit von eisenhaltigen Mineralsalzen im Bodensatz bedingt.

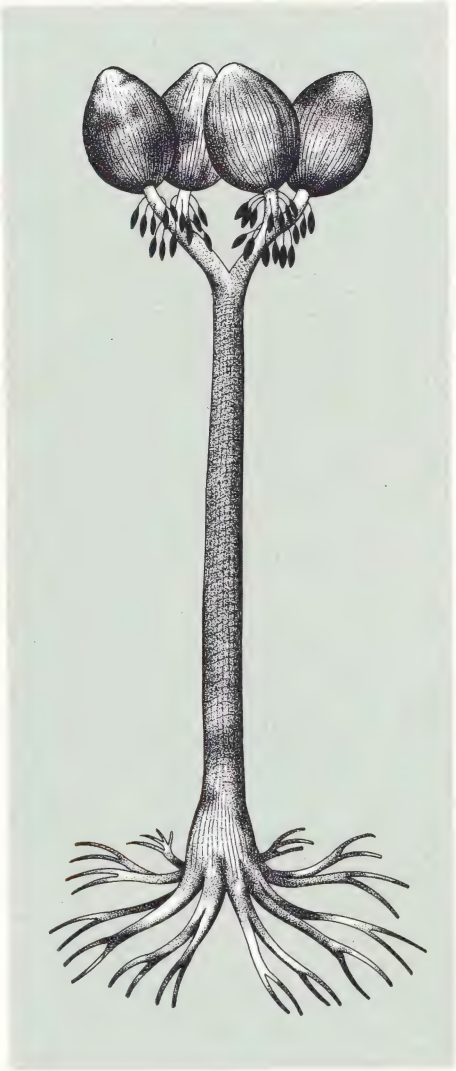
Rechts: Als sich am Anfang des 19. Jahrhunderts die Erforschung von Karbonschichtungen verstärkte, wurden die Wissenschaftler überraschenderweise mit ganzen Baumfossilien konfrontiert, die in den zu hartem Fels gewordenen Schichten von Sand und Lehm begraben lagen. Die Skizze zeigt einen solchen Fundort: den Treuil-Steinbruch in Saint-Étienne, Frankreich, gezeichnet nach einem zeitgenössischen Stich. Die Baumfossilien, jetzt nur noch Stämme, stehen aufrecht im Gestein.

dendren, ragten 40 m hoch empor, und ihr Stamm hatte einen Durchmesser von rund 1,50 m.

Die Lepidodendren waren durch kräftige Wurzeln, die tief in den Schlamm und Torf eindrangen, fest im Boden verankert. Ihre schlanken, geraden Baumstämme, die an der Spitze einen regenschirmähnlich ausgebreiteten Schopf von Blättern und Sporenkapseln trugen, ragten aus dem Wasser empor. Sie glichen wahrscheinlich unseren heutigen Schirmtannen, obwohl sie geometrischer und stilisierter wirkten. Die Rinde ihres Stamms war mit Blattnarben überzogen, die den ganzen Baumstamm schraubenförmig überdeckten und ihnen auf diese Weise eine sonderbare Schönheit verliehen.

Die *Siegelbäume (Sigillarien)* waren etwas kleiner, erreichten aber immerhin noch eine Höhe von 30 m und mehr (bei einem Stammdurchmesser von rund 1 m). Auch ihr Stamm war mit Blattnarben bedeckt, obwohl diese einfacher in der Form und anders angeordnet waren. Der allgemeinen Erscheinung nach erinnerten die Sigillarien noch mehr an eine Säule als die Lepidodendren. Ganz oben verzweigte sich der



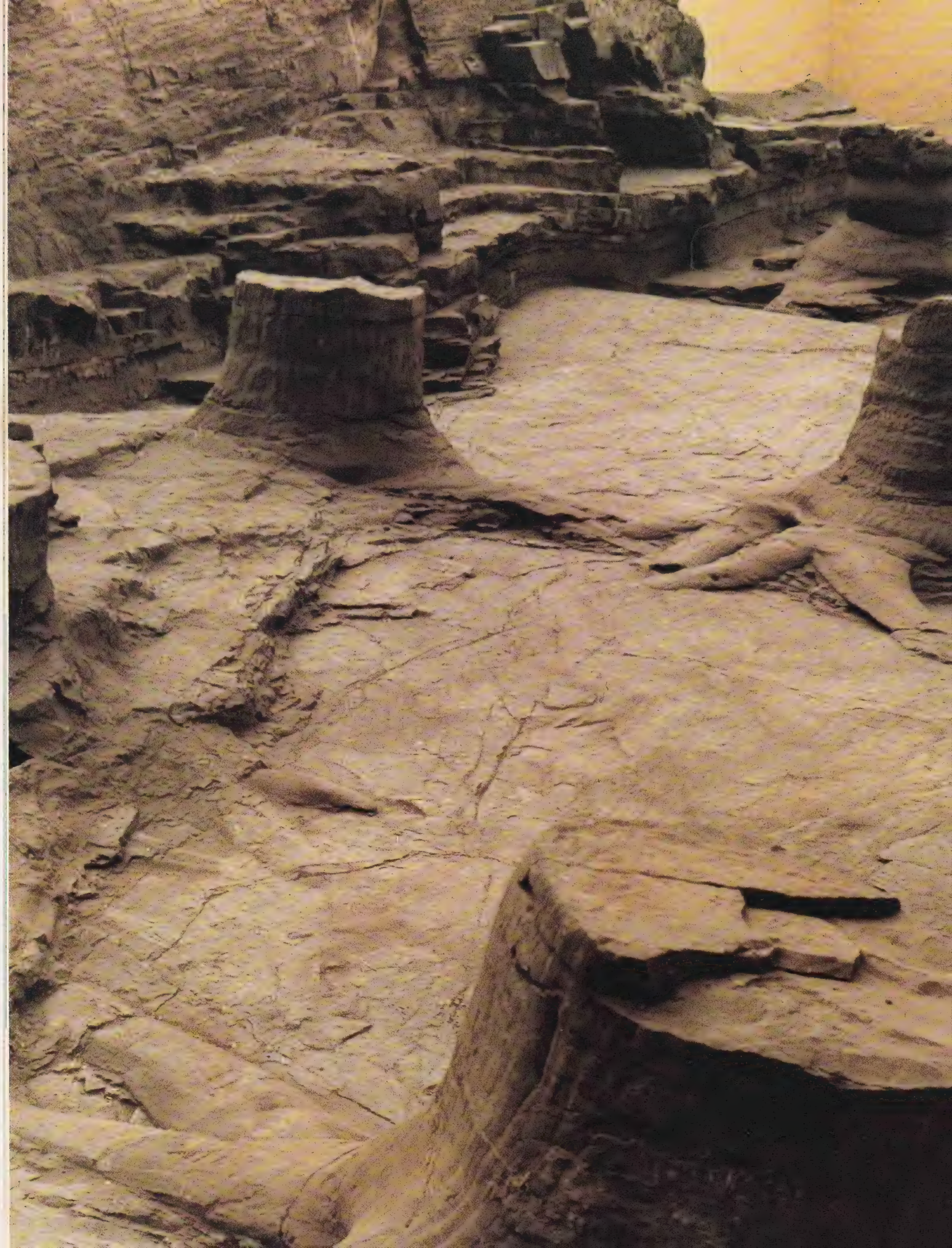


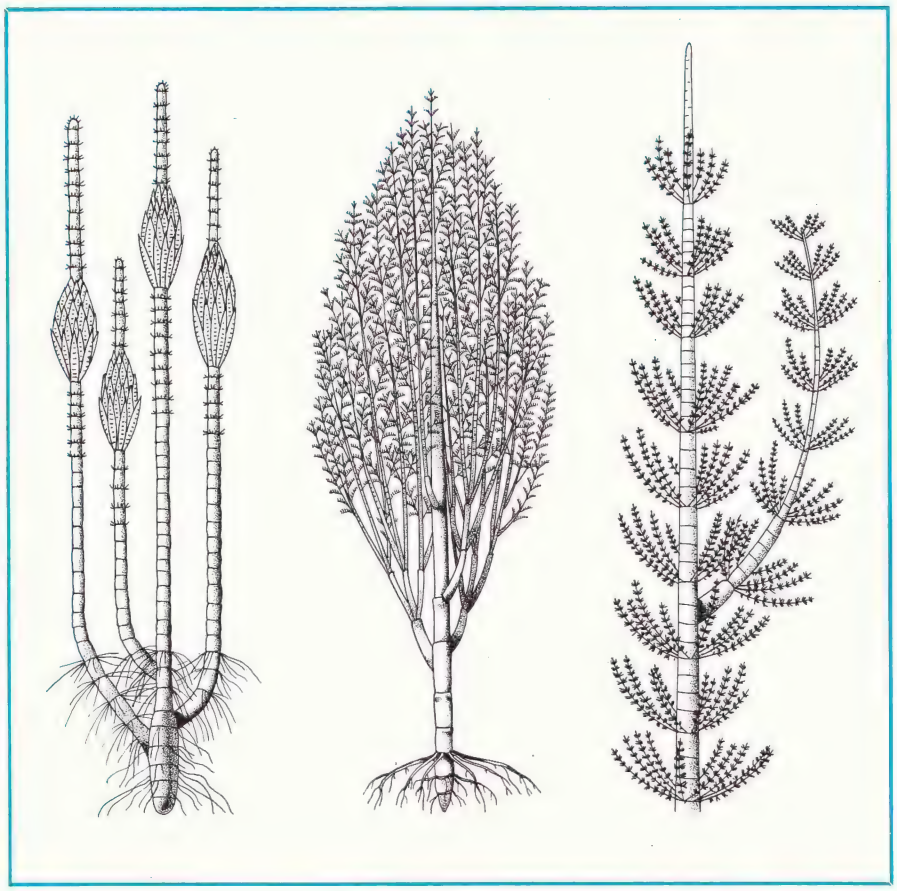
Oben: Rekonstruktion eines Siegelbaums von über 30 m Höhe aus dem Karbon.

Siegelbaum meist zwei- bis viermal. Jeder einzelne Ast trug an der Spitze ein Büschel von langen, schmalen Blättern; darunter saßen die Sporenkapseln. Manchmal jedoch gab es nur die buschige Krone ohne Verästelung; das muß dann wie eine grüne Flamme hoch oben auf einer monolithischen Pflanzensäule ausgesehen haben.

Die Lepidodendren und Sigillarien waren an der Ausbildung der Kohlelager wesentlich beteiligt. Sie beherrschten die Wälder des Karbons und hinterließen die Fossilien ihrer Stämme, Zweige und Wurzeln in den Felsen, eingebettet in die Kohlelager. Die Lepidophyten waren so riesenhaft und eigentümlich, daß man sie eine Zeitlang als angeblich selbständige systematische Gruppe unter der Bezeichnung *Stigmarien* zusammenfaßte. Obwohl dieser Irrtum schon seit langem aufgeklärt ist, gewann die Bezeichnung klassische Bedeutung und wird noch heute gebraucht.

Man hat die Stigmarien in vielen Einzelfällen im Zustand vollkommener Erhaltung gefunden. Dies lag daran, daß sie in den Schlamm (der Karbonzeit) eingesunken waren, der sie umhüllte, beschützte und mit





Links: Die seltsamen und wunderbaren Formen der Kalamiten (Sumpfpflanzen, die mit den heutigen Schachtelhalmen verwandt sind) erreichten eine Höhe von etwa 30 m. Ihre Stämme waren gerillt und durch Knoten gegliedert wie bei den heutigen Bambus-, Zucker- oder Schilfrohrpflanzen. Von diesen Knoten wuchsen seitlich kleine und große Zweige und sogar ganze Baumstämme aus.

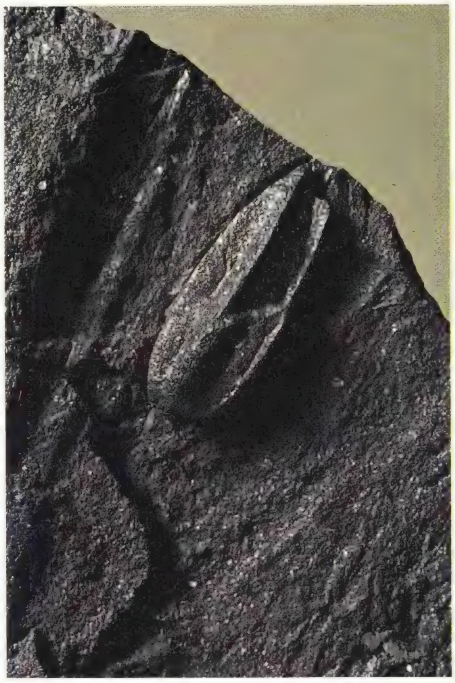
ihnen schließlich zu hartem Fels wurde. Manchmal gelang es sogar, ihre Steinumhüllung so behutsam zu entfernen, daß die gewaltigen Wurzeln hervortraten – genau so, wie sie einst im breiigen, schlammigen Wasser gestanden hatten. Das berühmteste Beispiel dieser Art befindet sich im Victoriapark in Glasgow in Schottland. Dort erhebt sich eine ganze Gruppe von Stigmarien, fest eingewurzelt in Felsen, die ehemals Lehm waren, in kegelförmigen Säulen zum Himmel empor.

Andere Pflanzen des Karbons

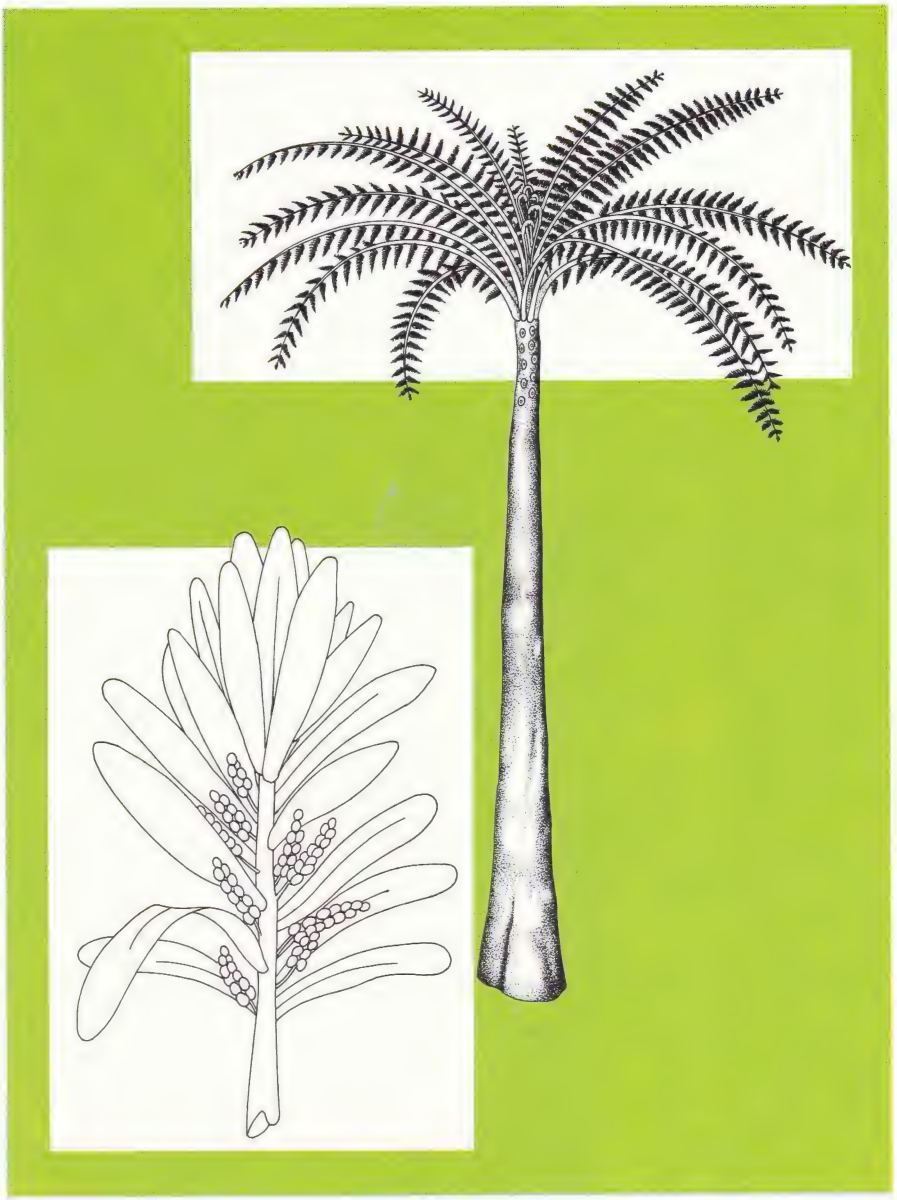
Außer den Lykopsiden gab es eine große Zahl von Pflanzen unter den Hauptbaumarten der Wälder im Karbon, die zu einer anderen Klasse der Pteridophyten gehörten: den *Schachtelhalmen (Equisetatae, Sphenopsida).* Ihre Stämme waren in mehrere Teile gegliedert, welche an den Stellen, an denen die Zweige sich entwickelten, mit einer Vielzahl von Knoten bedeckt waren. Diese Erscheinung ist noch bei den heutigen Vertretern der Sphenopsiden festzustellen. Das zeigt sich z. B. am *Schachtelhalm (Equisetum),* der mit seinen zerbrechlichen Stengeln, die so reich an Siliciumdioxid sind, am Rand von Straßengräben oder feuchten Böschungen wächst.

Im Karbon waren die Sphenopsiden Riesen, die an die Sigillarien allemal heranreichten. Ihre verbreitetsten Vertreter, die *Kalamiten,* wuchsen bis zu einer Höhe von 30 m heran. Sie besaßen gerillte Stämme, die durch unzählige Knoten untergliedert waren, und müssen mit diesen

Linke Seite: Diese gigantischen versteinerten Wurzeln mit einem Teil des Stamms wurden im Victoriapark in Glasgow, Schottland, entdeckt, wo sie noch immer zu sehen sind. Sie werden Stigmarien genannt und sind die Überreste von Pflanzen, die zu den Schuppenbäumen gehörten.



Oben: Versteinerter Samen von Trigonocarpus bernardi, aufgefunden in den Karbonschichtungen von Val Sanagra in der Lombardei (Italien). Der Trigonocarpus gehörte zur Klasse der Samenfarne, die Samen produzierten, obwohl ihre Zweige denen von Farnen ähnelten.



Rechts: Beispiele von Farnen, groß wie Bäume, die ihre Blütezeit im Karbon hatten: Psaronius aus der Ordnung Marattiales, dessen Nachkömmlinge immer noch in Malesien gedeihen; links: Detail des Zweigs eines Kordaiten, eines Karbonbaums, der eine Höhe bis zu 40 m erreichte.

Stämmen und ihren nicht enden wollenden Siegelmustern die übrigen Lykopsiden wirklich überragt haben. Mit ihren Zweigbüscheln, die sich zur Spitze des Stamms hin zunehmend verengten, sahen die Kalamiten unseren heutigen Tannenbäumen entfernt ähnlich. Bei einigen Kalamiten allerdings ragten die knotigen, gegliederten Stämme wie gigantische, ausgebreitete Schilfhalme hoch über die anderen Bäume empor und verzweigten sich erst an der Spitze zu enormen Zweigbüscheln, was der Erscheinung der Sigillarien entsprach. Diese höchst bemerkenswerten Bäume trugen zwei Arten von Sporen, wie vor ihnen viele andere Pflanzen im Devon: Mikrosporen und Makrosporen.

Das üppige Wachstum dieser Pflanzen vollzog sich vor dem Hintergrund aller Arten von Farnen, solcher z. B., die sich heutzutage wie gewaltige Blumen in Bergtälern öffnen, oder anderer, die heute mit echten Stämmen wie robuste Palmen in den Tropen wachsen. Beson-

Ein Nadelbaumwald in Nordamerika. Das Pflanzenreich in vorzugsweise gebirgigen Gegenden ist weitgehend durch diese Art von Wald charakterisiert.

ders schön unter ihnen waren z. B. die *Marattialen.* Von ihnen gibt es noch heute einige Arten in Malesien. Sie haben zierliche Stämme, die eine Höhe bis etwa 10 m erreichen können. Auf ihren Stämmen trugen sie Zweige; etwas darunter befanden sich die Sporenkapseln. Diese Pflanzen waren an Größe recht beachtlich, kamen aber dennoch unter den aufragenden Kalamiten und den kolossalen Lykopsiden nicht richtig zur Geltung.

In den Karbonwäldern gab es weiterhin auch Pflanzen, die unseren heutigen Farnen ähnelten, die jedoch Samen trugen. Es handelt sich u. a. um die *Samenfarne (Pteridospermen),* von denen schon im Zusammenhang mit der Beschreibung des Devons die Rede war. Mit ihrer Unterstützung gewannen die Sporophyten den Wettkampf mit den Gametophyten, die schließlich nur noch ein Zwischenspiel im Fortpflanzungsprozeß darstellten.

In der zweiten Hälfte des Karbons (Pennsylvanian) gab es auf der Erde weite Bereiche, die zeitweise überflutet waren, so daß sich ausgedehnte Sümpfe und Lagunen bildeten. In diesen Gewässern und an ihren Ufern breiteten sich die erstaunlichsten Wälder aus, die je existierten. In diesen Wäldern gab es bis zu 40 m hohe Bäume. Ihre Nachkommen in unserer Zeit sind kleine Pflanzen, die nur einige Zentimeter hoch werden. Die damaligen Wälder wurden von Pflanzen beherrscht, die mit den heutigen Bärlappgewächsen und Schachtelhalmgewächsen verwandt waren, von großen Farnen und von Samenfarnen (den Farnen ähnlich, aber samentragend). Auch nadelbaumähnliche Pflanzen wuchsen dort, und gegen Ende des Pennsylvanians gab es die ersten echten Nadelbäume. Auf diesem Bild sehen wir Schuppenbäume, Siegelbäume, Kalamiten, Baumfarne, Laubfarne und Samenfarne.

Besser entwickelt als die Pteridospermen waren die *Kordaiten.* Sie existierten schon im Devon und gingen dem Typ des echten Nadelbaums voraus. Die Kordaiten waren hochgewachsene Bäume mit schlanken Stämmen. Sie hatten Blätter mit paralleler Aderung, die bis zu 1 m lang waren. Bezüglich ihrer Höhe wetteiferten sie mit den größten Bärlappgewächsen. In England wurde in Schichtungen aus dem Karbon ein Kordaitenstamm von 35 m Länge entdeckt (der sogar noch unvollständig war). Die langsame Entwicklung der Kordaiten während des Karbons führte zu der Art von Nadelbäumen, welche am Ende der Pennsylvanien-Periode ein Pflanzenreich ankündigte, das unseren heutigen Erfahrungen und Vorstellungen eher entspricht.

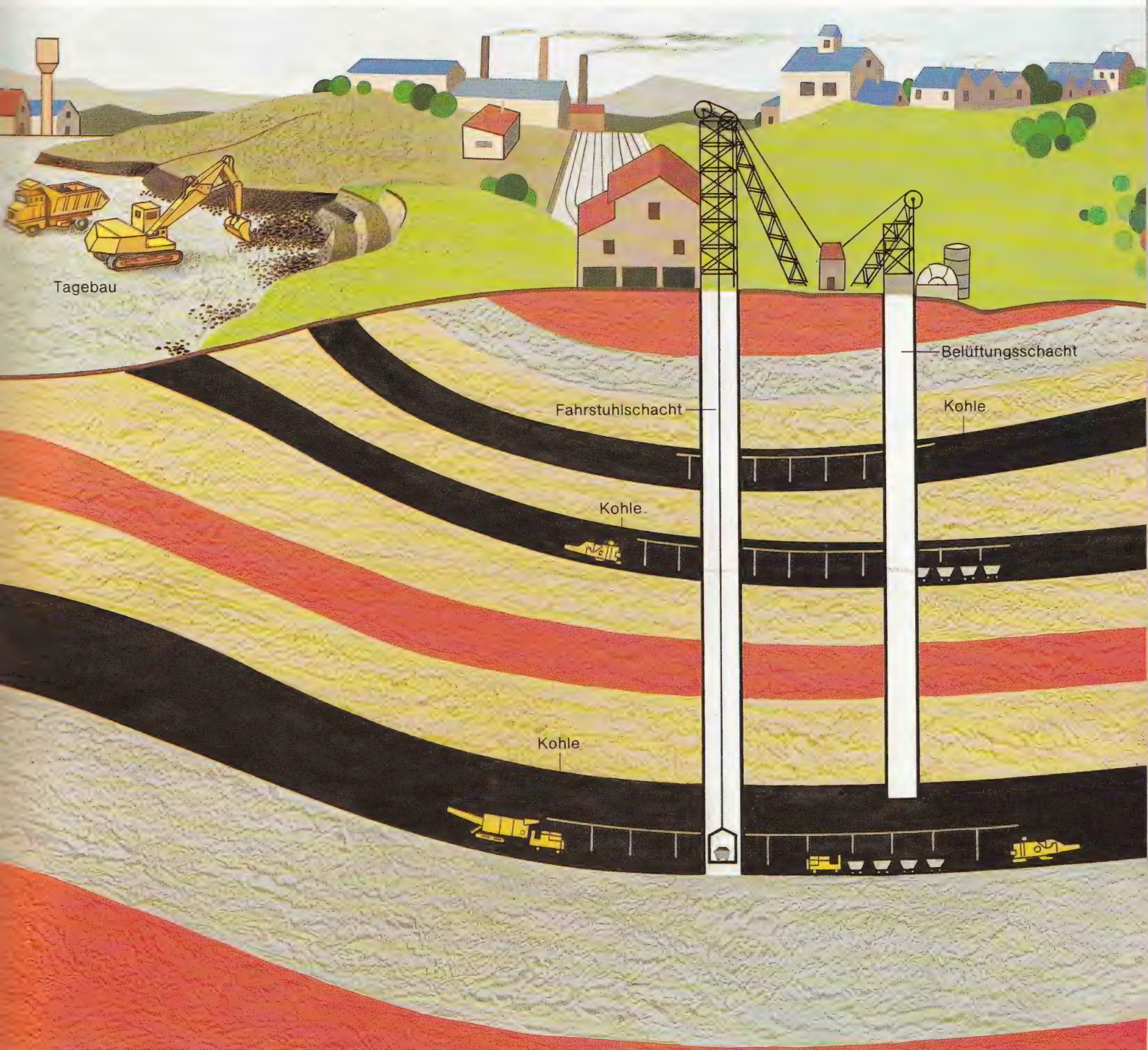
Schematischer Querschnitt durch das fruchtbare Land der Pennsylvanien-Periode in Kansas. Gezeigt werden die Kohlenschichten mit tabellarischen Angaben darüber, wie sie heute aussehen (Mitte) und wie sie ursprünglich waren, als sie abgelagert wurden (rechts).

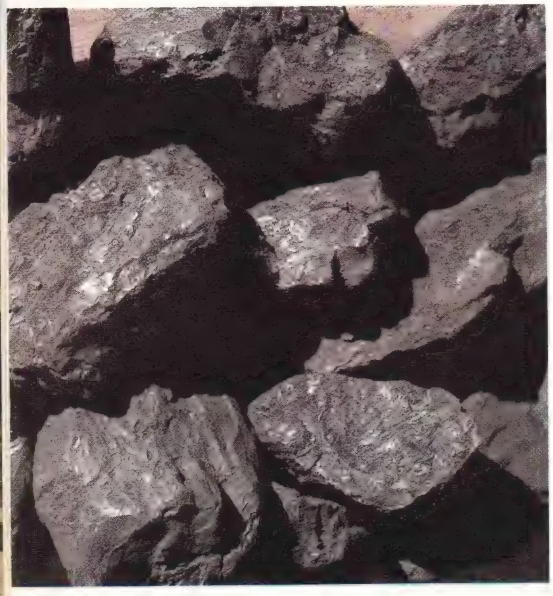
Meeres-ablagerungen	Tonschiefer	Meeresschlamm
festländische Ablagerungen	Kohle	Bäume, Algen, Reste von Schwimmpflanzen
	Tonschiefer	Lagunenschlamm
	sandiger Tonschiefer	Lagunensand und -schlamm
	Konglomerate	Kies
Meeres-ablagerungen	Tonschiefer	Meeresschlamm
	Kalk	Kalkanhäufungen
	Kalk-Ton-Schiefer	Meeresschlamm und mariner Kalkschlamm
	Kalkschichten und -bänke	Kalkanhäufungen
	Tonschiefer	Meeresschlamm
festländische Ablagerungen	Kohle	Bäume, Algen, Reste von Schwimmpflanzen
	Tonschiefer	Lagunenschlamm
	sandiger Tonschiefer	Lagunensand und -schlamm
	Konglomerate	Kies
Meeres-ablagerungen	Tonschiefer	Meeresschlamm

Die Wälder des Pennsylvanians hatten sich unterdessen in schimmernde Kohle verwandelt. Diese befindet sich tief unter der Erdoberfläche. Wenn wir sie erreichen wollen, müssen wir zunächst Schichten unfruchtbaren Felsens mit Bergwerksschächten durchdringen. Ein solcher Wechsel der Schichtungen ist typisch für alle Kohlenflöze des Pennsylvanians. Er wiederholt sich dutzend-, ja hundertfach. Dies mag seltsam scheinen, ist aber nach den Vorgängen, die die Erdoberfläche im Karbon gestalteten, leicht zu verstehen: Am Anfang dieses Zeitalters bedeckte ein flaches Meer verschiedene Teile des nordatlantischen Kontinents. Später hob sich dann das Land und verhinderte das weitere Vordringen des Meeres. Die fließenden Gewässer wurden durch diesen Vorgang sozusagen

Die Bildung der Kohlenflöze

Hypothetische Querschnittzeichnung eines Kohlenbergwerks. Die Schächte dringen tief in die Erde ein. Für jedes Flöz werden von den Schächten aus Tunnel gegraben, um die Bergung der Kohle zu ermöglichen. Die Kohlenschichten treten wechselweise zusammen mit Schichten von taubem Gestein auf, in denen sich keine Kohle befindet.





Steinkohlebrocken oder fossile Kohle.

„verjüngt"; denn mit den ansteigenden Abhängen, die sie hinabströmten, steigerte sich auch ihre Erosionswirkung. Sie enthielten und beförderten viel Gesteinsschutt und bildeten an den Küsten ausgedehnte Deltas und Lagunen. So entstanden dann allmählich die Ablagerungen. Sie waren das Ergebnis langsamer Senkungsprozesse, die durch die unterschiedliche Geschwindigkeit des Absinkens und die unterschiedliche Zusammensetzung der Ablagerungen aus den Flüssen kompliziert wurden.

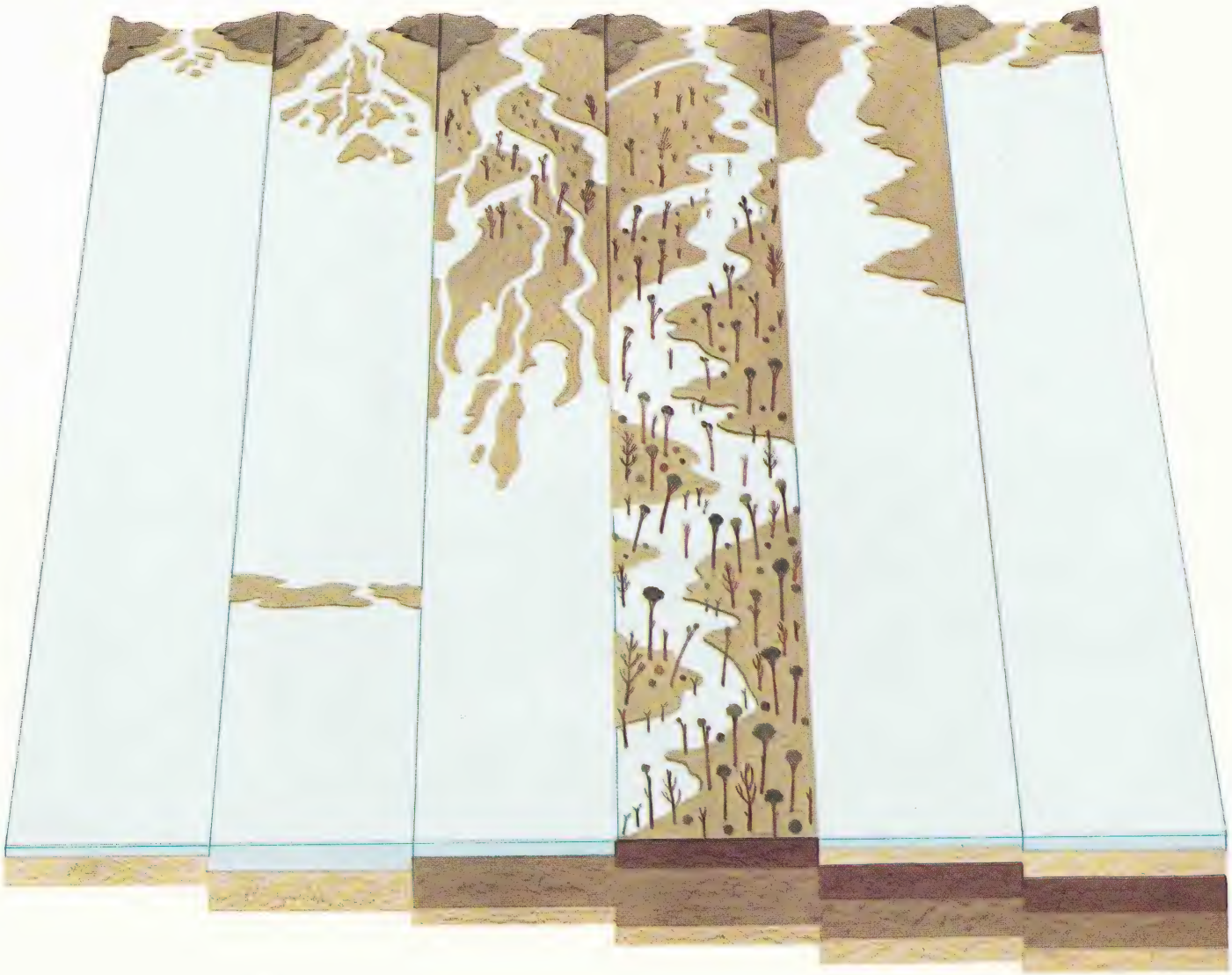
Stellen wir uns einen Teil des Meeres vor, in dem sich ein Delta gebildet hat: Sand und Schlamm werden laufend an- und durchgespült. Es gab in den verschiedenen Phasen dieses Vorgangs einen Punkt, an dem das Material, welches der Fluß herantrug, schneller vordrang, als der Küstenstrich absank. Der Fluß bildete daher Lagunen, während er weiter hinaus ins Meer strömte. Das Delta erweiterte sich. Kies, Sand und Schlamm türmten sich auf dem auf, was vorher der Meeresboden gewesen war. Und dann kam der Wald: Kalamiten wuchsen in Gegenden, die noch vom Wasser bedeckt waren. Sigillarien und Lepidodendren siedelten sich an Stellen an, die zwar trockener waren, aber dennoch von Zeit zu Zeit überflutet wurden. So ist es erklärlich, daß sich Ablagerungen während einer langen, langen Zeit nur noch aus den mächtig sich anhäufenden Resten von Pflanzen aus anderen Wäldern während der periodischen Überflutungen bildeten.

So wurde schließlich ein Kohlenflöz angelegt. Die hochgewachsenen Bärlappgewächse, die tief im Schlamm steckten, hinterließen ihre Wurzeln. Oberhalb dieser Wurzeln lagerten sich stark gehäuft die Reste unzähliger Pflanzengenerationen ab. Dann änderte sich die Situation: Der Fluß wich zurück, weil das allgemeine Absinken des Küstenniveaus das Meer vordringen ließ; der ungeheure Wald verschwand unter der Wasseroberfläche und versank später im Meeresschlamm.

Sehr viel später änderte sich die Lage erneut ziemlich radikal: Das Meer wich wieder zurück, und das Deltawasser trug abermals Sand und Lehm hinaus, die die Überbleibsel von Weichtieren, Stachelhäutern und Fischen bedeckten. Neues schlammiges Land bildete sich und wurde von der Sonne gewärmt und vom Regen durchfeuchtet: Ein neuer Wald wuchs heran. Auch hier folgte Baumgeneration auf Baumgeneration, bis auch diese alle durch einen neuen Einbruch des Meeres ausgelöscht wurden. Dieser Prozeß wiederholte sich unzählige Male, bis sich schließlich in Millionen von Jahren die übereinanderlagernden Schichtungen, die wir heute in unseren Bergwerken ausbeuten, gebildet hatten.

Die Bildung von Kohle und Öl

Während all dies geschah, verwandelte sich das Pflanzengewebe in den begrabenen Wäldern in Kohle. Wir nennen dieses Phänomen *Inkohlung* oder *Karbonisation*. Von Sumpf umgeben, waren die toten Pflanzen im schlammigen Brackwasser von jeglicher Direkteinwirkung der Luft, die sie sehr schnell zerstört haben würde, isoliert und geschützt. Was folgte, war unter anderem das Werk von Bakterien. Sie bewirkten, daß von den Pflanzengeweben Sauerstoff und Stickstoff freigegeben wurden; dies wiederum hatte zur Folge, daß sich Kohlenstoff entsprechend in den Geweben anreicherte. Die pflanzlichen Überreste wurden zwischen den verschiedenen Ablagerungsschichten zusammengepreßt. Am Ausgangspunkt dieser Prozesse hatten wir eine Dicke von mehreren hundert Metern pflanzlichen Materials, das in den Sümpfen in Fäulnis und



Zersetzung übergegangen war. Dieses Material sackte nun auf Kohlenflöze von wenigen Metern Dicke zusammen, wie sie heute existieren.

Der Prozeß der Inkohlung findet auch heute noch statt in Sümpfen, wo aufgehäuftes pflanzliches Material ohne Berührung mit der Luft zersetzt wird. Gleichwohl war er niemals ausgeprägter als im Karbon.

Ganz ähnlich sind die Vorgänge, die bei der Entstehung des Erdöls eine Rolle spielten. Wie Kohle findet sich auch Erdöl in Schichtungen aus verschiedenen Zeitaltern; das früheste ist das Ordovizium. Anders als Kohle finden sich die großen Erdölreserven der Erde allerdings in Schichtungen, die unserer Zeit erheblich näher liegen als die Periode des Pennsylvanians.

Die vorherrschende wissenschaftliche Meinung über die Entstehung des Erdöls ist die, daß es sich aus gewaltigen Mengen zerfallener organischer Materie, die sich ansammelt, bildet. Solche Materie, vorzugsweise pflanzlichen Ursprungs, war in verschiedene Schichtungen eingeschlossen: Meer, Lagune, Delta und Sumpf. Auch hier erfolgte in einer Umgebung ohne Luftsauerstoff unter dem Einfluß von Bakterien

Darstellung eines jener Zyklen, die den rhythmischen Wechsel in den Ablagerungen des Pennsylvanians verursachten. Von links nach rechts: Ein Küstengebiet wird auf Grund des langsamen Zurückweichens des Meers zur Lagune. Später werden in der Lagune durch Überschwemmungen Sedimente angesammelt, und das dadurch entstehende Flachland wird bald von einem großen Wald bedeckt. Die Überreste dieses im Laufe der Zeit sterbenden Waldes, zusammen mit denen von Pflanzen, die von der Flut angeschwemmt wurden, verwandeln sich in Kohle. Zu diesem Zeitpunkt sinkt der Erdboden so stark ab, daß der Wald mit Schlick bedeckt wird. Durch das Zurückweichen des Flusses wird das Gebiet wieder in seinen ursprünglichen Zustand zurückversetzt.

Aufnahme eines Erdölfelds in Libyen. Das erste Erdölbohrloch wurde 1859 in Titusville, Pennsylvanien, gesetzt.

ein Prozeß der Umbildung, an dessen Ende Kohlenwasserstoffverbindungen mit unterschiedlich strukturierten Molekülen standen, in denen schließlich alle Spuren ursprünglicher organischer Gliederung unerkennbar geworden waren.

Im Unterschied zur Kohle, die zusammenhängende Lager bildete, durchtränkte das Erdöl die Gesteine, die sich bei seiner Bildung ablagerten. Dies verlief etwa so, wie wenn eine Schicht Wasser eine andere durchlässige Schicht durchtränkt und dabei auch noch in die winzigsten Zwischenräume zwischen den Gesteinskörperchen eindringt. Der leichtere Kohlenwasserstoff drang dann langsam durch die Felsschichten nach oben, hier und da allerdings von Hindernissen, wie z. B. undurchlässigen kuppelförmigen Gesteinsbildungen, aufgehalten. Wenn dies geschah, kondensierte der gasförmige Kohlenwasserstoff am höchsten Punkt in der Mitte der Kuppel und ließ die Flüssigkeit unmittelbar unter sich. Dies ist eine der klassischen Lagen in Erdölfeldern.

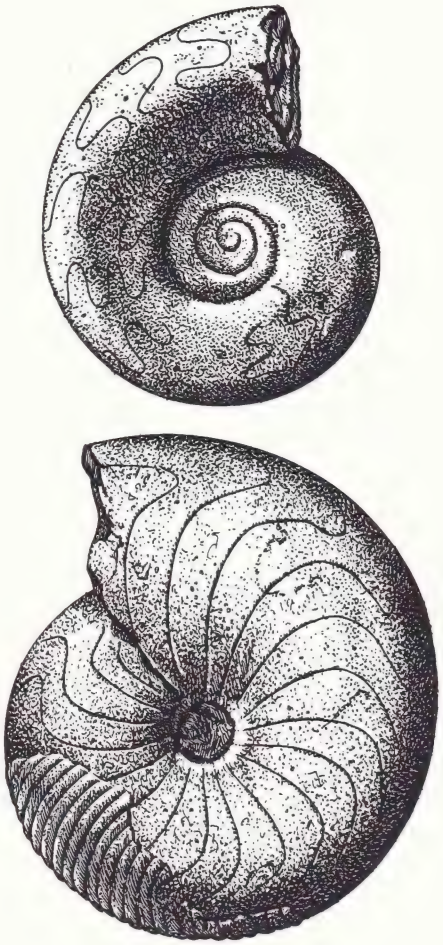
Die Wirbellosen im Karbon

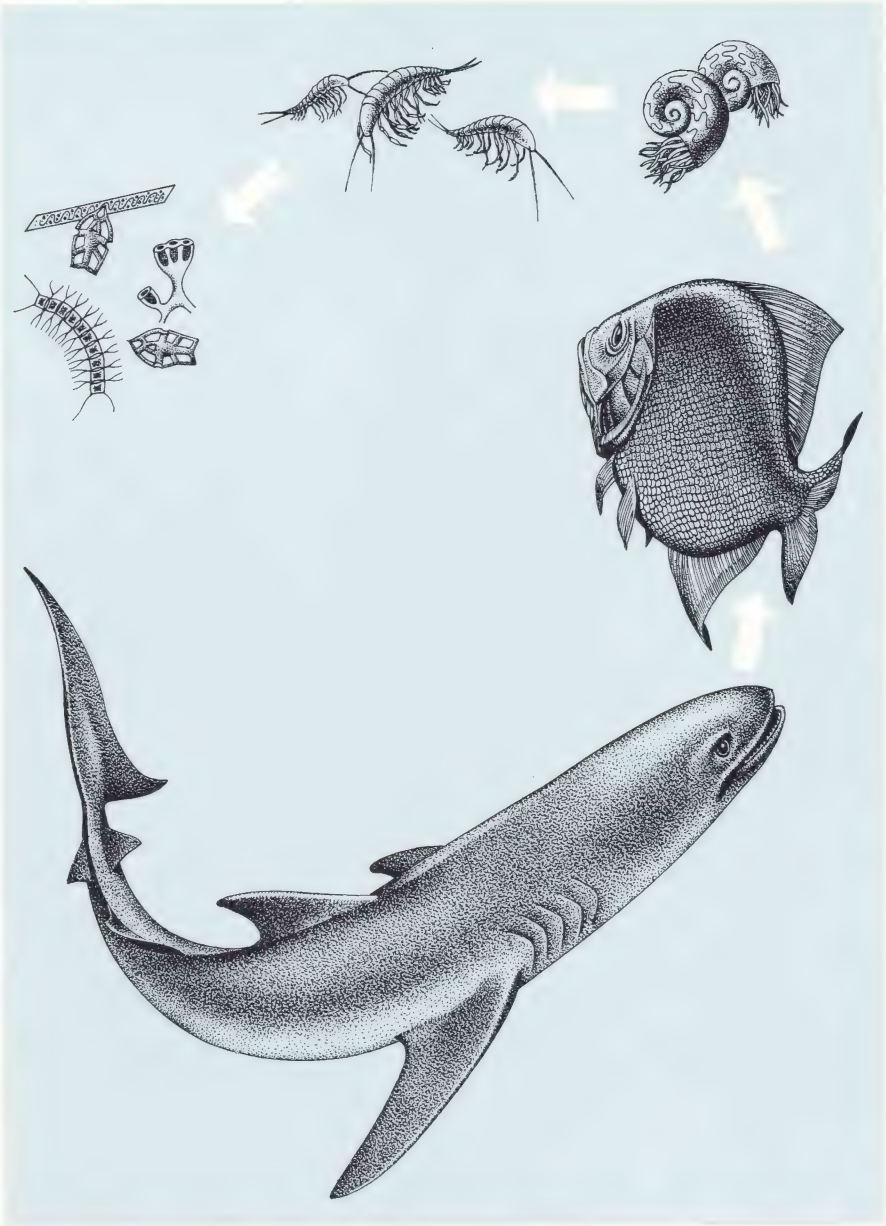
Das Leben im Meer

Dort, wo spiegelklares, warmes Wasser die tieferen Ebenen des Oldreds am Anfang des Karbons bedeckte, erholten sich ganz allmählich die Riffgemeinschaften (Tiere und Pflanzen), nachdem sie am Ende des Devons fast zugrunde gegangen waren. Es bildeten sich neue Unterseefelder, die sehr lebhafte Farben aufwiesen, während Algen und Korallen die Arbeit an ihren kalkhaltigen Bauwerken wieder aufnahmen. Als sehr hilfreich bei dieser Arbeit erwiesen sich im Pennsylvanian die Vertreter der Gattung *Fusulina,* große Protozoen, die mit einer komplizierten kalkhaltigen Schale bedeckt waren. Auch die *Krinoiden* (Haarsterne, bestimmte Stachelhäuter) waren jetzt erheblich zahlreicher vorhanden als im Devon, und sie zeigten eine wunderbare Farbenpracht.

In den ersten Zeiten des Mississippians existierten immer noch einige Graptolithen in selten gewordenen Kolonien; sie verschwanden jedoch gänzlich während des Pennsylvanians. Auch die Trilobiten, einst unumstrittene Herrscher des Meeres, waren dem Aussterben nahe. Für immer verschwunden waren die riesigen Nautiloideen; es blieb nicht einmal eine Erinnerung an sie in den schlammigen Meeresböden zurück, die sie im Ordovizium bevölkert hatten. An ihre Stelle traten viele Gruppen anderer Weichtierarten: Gliederfüßer und Stachelhäuter, die es bis dahin nicht gegeben hatte. Im Gegensatz zu den Nautiloideen befanden sich die *Ammoniten* im Aufstieg. Diese Lebewesen mit ihren eleganten, spiralförmigen Schalen, in denen die inneren Trennwände kunstvolle geometrische Linien bildeten, setzten sich jetzt durch und bereiteten sich auf eine zukünftige Herrschaft vor, die in ihrer Bedeutung mit der der Trilobiten verglichen werden kann.

Mittlerweile gab es auch wieder Unmengen von Fischen, die alle diese verschiedenartigen Tiere jagten und auffraßen. Seit dem Ordovizium, als viele Fische sich in den Süßwassergebieten angesiedelt hatten, gab es immer wieder Zeiten, in denen die Fische ins Meer zurückkehrten, um sich dort fortzupflanzen. Schließlich nahmen am Ende des Devons ganze Gruppen von Knorpel- und Knochenfischen wieder in den salzigen Gewässern des offenen Meeres für immer ihre Wohnung. Im Karbon befanden sich in den Meeren sowohl Urhaie, die unseren





Oben, links: Pronorites und Glyphioceras sphaericum, zwei Ammoniten aus dem Karbon.

Oben, rechts: Beispiel einer möglichen Nahrungskette in den karbonischen Meeren. Ganz unten stehen einzellige Algen. Danach folgen die kleinen Krustentiere, dann die Ammoniten und auf diese die Knochenfische. Das letzte und oberste Glied der Kette bilden die Urhaie.

heutigen Haien nicht unähnlich waren, als auch Knochenfische, die mit dem heutigen Stör verwandt waren.

Die Nahrungsketten am Ende des Pennsylvanians könnte man als „modern" bezeichnen. An der Spitze (als Endkonsumenten) befanden sich die Knochen- und Knorpelfische, genau wie heute. Trotz dieser Parallele waren die anderen Lebensformen, die Glieder in dieser Kette darstellten, doch sehr verschieden von denen in den heutigen Meeren. Immerhin boten die Ammoniten, Nautiloideen und Kopffüßer jener Zeiten den Raubfischen dieselbe Art von Nahrung wie heutzutage die Kraken und Polypen. Das Wichtigste aber war, daß sich an dem einen Ende der Kette, genau wie in den heutigen Meeren, die Wirbeltiere befanden.

Weichtiere und Gliederfüßer des Karbons

Während im Meer Lebensformen verschiedener Art gediehen, wie sie dies seit Urzeiten getan hatten, gab es immer mehr Tierarten, die auf das feste Land übersiedelten. Zu den Gliederfüßern, die schon im Silur und Devon das Wasser verlassen hatten, gesellten sich am Anfang des Karbons auch *Weichtiere.* Es waren *Seeschnecken,* die in einer bestimmten Hinsicht genauso erfolgreich waren, wie es vor ihnen die Skorpione und Insekten gewesen waren: nämlich in bezug auf die Umbildung der Kiemen in ein Organ, das es ihnen ermöglichte, die atmosphärische Luft direkt einzuatmen.

In den Karbonwäldern gab es für diese Neulinge bereits eine ökologische Nische, so daß sie in der feuchten Umgebung nicht mit den

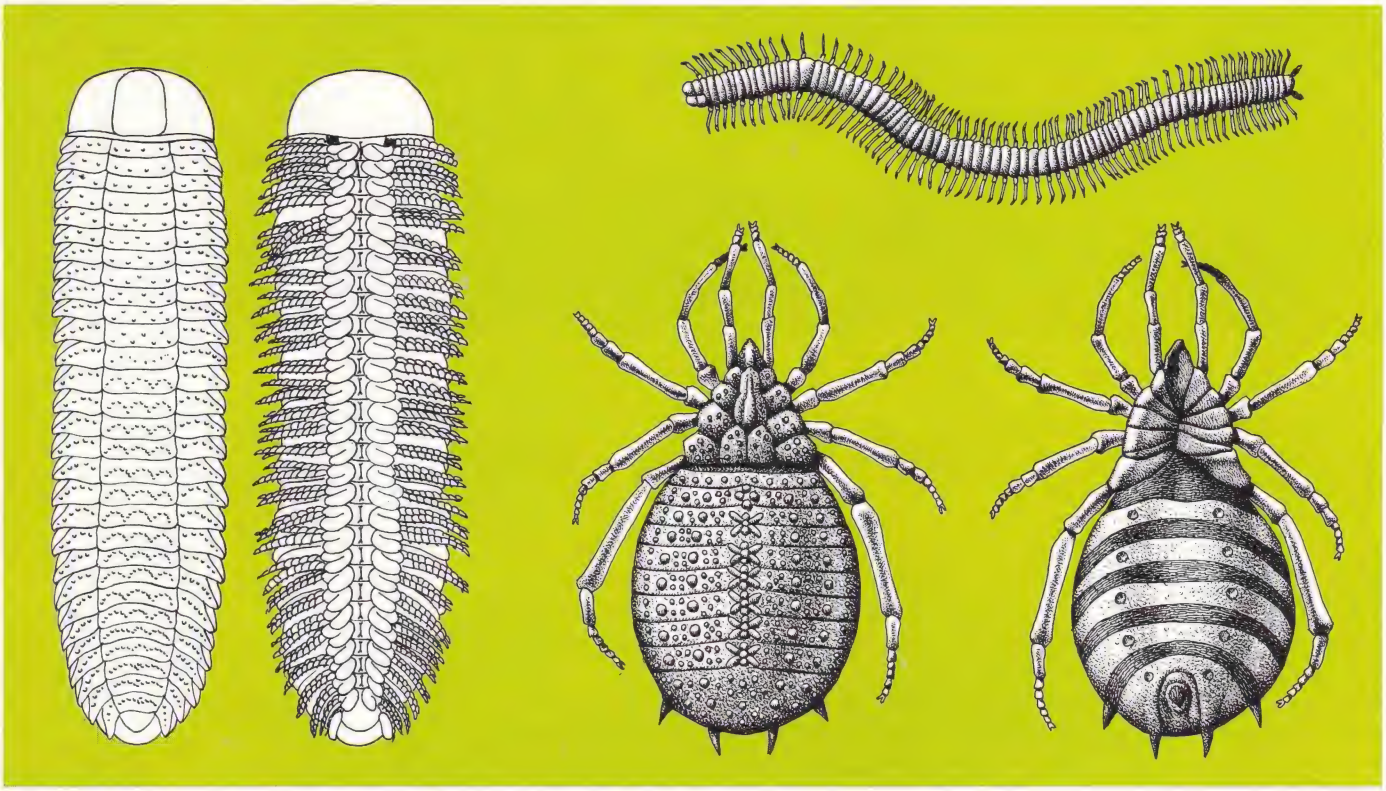
Heutige Landschnecken, hier vertreten durch die häufige Hainschnirkelschnecke (Helix nemoralis).

Problemen kämpfen mußten, die andere Lebewesen zu überwinden hatten. Betrachtet man z. B. eine Gartenschnecke, mit Schleim bedeckt und nur nach einem Regenguß oder bei genügend hoher Luftfeuchtigkeit imstande, sich langsam zu bewegen, könnte man meinen, sie wäre immer noch ein Wassertier.

Große, seltsame Gliederfüßer, Mitglieder einer ausgestorbenen Gruppe von *Arthropleuriden,* die nur in Karbonschichtungen gefunden wurden, gingen denselben Weg wie die Weichtiere. Die Vertreter der Gattung *Arthropleura* waren riesige Tiere. Sie waren rund 1,50 m lang, stark segmentiert und mit unzähligen Füßen versehen, die es ihnen ermöglichten, sich auf seichten Flußbetten und auf Schlammboden gemächlich fortzubewegen. Wahrscheinlich krochen sie in den Küstengebieten in die Lagunen und wagten sich in den feuchten Schatten des Unterholzes. Wir wissen nicht genau, wer ihre Vorfahren waren, obwohl sie mit den Trilobiten verwandt zu sein scheinen. Die Bemühungen der Arthropleuren, vom Wasser unabhängig zu werden, waren offensichtlich nicht sehr erfolgreich, da es nach dem Karbon keine weiteren Spuren von diesen Lebewesen mehr gab.

Die *Spinnentiere* und *Tausendfüßer* dagegen waren, nachdem sie mehrere Millionen Jahre auf dem festen Land verbracht hatten, besonders gut angepaßt. Viele *Skorpione,* ihren heutigen Verwandten ähnlich, lauerten im Unterholz und in Spalten bröckeliger Felsen auf Beute. *Spinnen* dagegen, mit ihren verhältnismäßig kurzen Füßen und ihrem segmentierten Hinterleib, kletterten auf der Suche nach Beute überall umher. Tausendfüßer gab es in allen Größen; manche von ihnen waren riesengroß; der *Acantherpetes* z. B. war 50 cm lang und 3 cm breit.

Drei Vertreter der Tierwelt des Karbons: von links nach rechts: Arthropleura, 1,5 m lang; dieses Tier kroch vermutlich im Schlamm der Lagunen herum und drang auch tief in das Unterholz der großen Wälder vor. – Eophrynus, der zur ausgestorbenen Gruppe der Anthracomartida gehört. – Euphoberia brownii, gefunden in Karbonschichtungen in Glasgow, Schottland.



Die Insektenexplosion

Für die *Gliederfüßer* war das Karbon ein Zeitalter von großer Bedeutung. In dieser Periode entwickelten sich viele verschiedene Arten dieses Stamms. Dies geschah natürlich zum Nachteil anderer Tiergruppen. Die Trilobiten, deren Untergang schon erwähnt wurde, waren nicht die einzigen, die davon betroffen waren. Die Seeskorpione, die im Devon von den Plakodermen aus den Meeren vertrieben wurden, beherrschten ebenfalls nicht mehr die Binnengewässer der Kontinente und gingen einem unaufhaltsamen Ende entgegen. Zugleich aber verbreiteten sich die *Insekten,* die unter den Gliederfüßern die höchstentwickelten waren, in solchen Ausmaßen über die ganze Erde, daß das Karbon auch als „Zeitalter der Insekten" bezeichnet wird.

Die dünnen Schichtungen der Felsen des Pennsylvanians gaben Fossilien von mehreren hundert Arten frei. Wer sie sieht, hat den Eindruck, Zeuge einer wahren Artenexplosion zu sein. Natürlich wird dieser Eindruck dadurch verstärkt, daß es vor der Zeit der großen Wälder keine Ablagerungsgesteine gab, in denen die Insekten, deren Überreste schnell und spurlos verschwanden, hätten erhalten werden können. Im Karbon also entstand eine Vielzahl von Insektenarten, die sich im Pennsylvanian rapide ausbreiteten, bis sie jede nur mögliche ökologische Nische auf dem Festland besetzt hatten.

Bereits in den Kapiteln über das Devon im vorhergehenden Band bekamen wir einen Eindruck davon, auf welche Probleme die Wissenschaftler stießen, als sie versuchten, die Geschichte der Insekten bis zu ihrem Ursprung zurückzuverfolgen. Ein zusätzliches Problem stellte sich ihnen bei der Erforschung der Karbonschichtungen: Wie kamen die Insekten zu ihren Flügeln? In Schichtungen aus dem Devon entdeckte

Abbildung auf den beiden folgenden Seiten: Das größte Insekt, das je gelebt hat, die Meganeura, über die Sümpfe des Karbons fliegend. Dieses Tier ähnelte den heutigen Libellen.

Unten: Der wesentliche Unterschied zwischen den Flügeln der Hexapoden und der Tetrapoden; von links nach rechts zunächst zwei Hexapoden: ein Silberfischchen (ohne Flügel) und eine Biene. Da beide Tiere die gleiche Anzahl von Beinen haben, können wir daraus folgern, daß die Flügelbildung nicht durch die Beine beeinflußt wurde. Die beiden letzten Tiere sind Tetrapoden: eine Eidechse und ein Vogel. Die Eidechse hat vier Beine, der Vogel aber nur zwei, da das andere Gliedmaßenpaar in Flügel umgewandelt wurde. Daraus schließen wir, daß bei Tetrapoden die Flügel durch Umbildung der Vordergliedmaßen entstanden.

DI CIANCIO

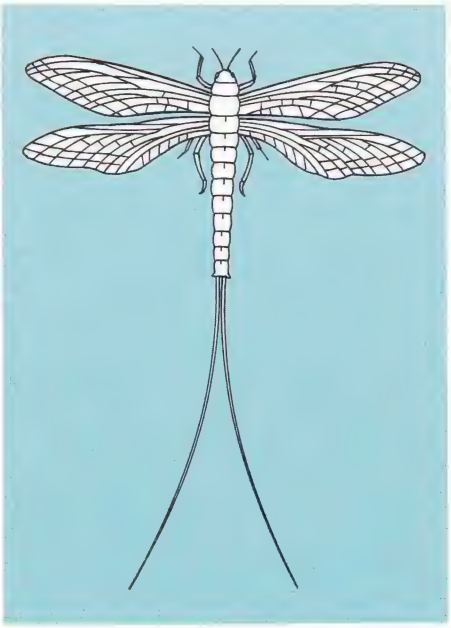
man Fossilien von winzigen, flügellosen Insekten, die in verfaulender Pflanzenmaterie gelebt hatten. Demgegenüber gab es im Karbon riesige Insekten, die sich hoch in der Luft bewegten und deren Flügel in der Sonne glänzten. Wie kam eine solche außerordentliche Entwicklung überhaupt zustande? Es gibt darauf zur Zeit keine befriedigende Antwort. Fest steht nur, daß die Entwicklung von Insekten mit Flügeln schon in grauen Vorzeiten stattgefunden haben muß. Die kleinen, flügellosen Insekten des Devons wurden offensichtlich in diesen Evolutionsprozeß nicht einbezogen. Sie bildeten eine Gruppe für sich.

Insekten mit sechs „Flügeln" und riesige Libellen

Um die Schwierigkeiten der Wissenschaftler zu verstehen, müssen wir uns den Unterschied zwischen geflügelten Insekten und geflügelten Vierfüßern (geflügelte Wirbeltiere) vor Augen führen. Typisch für Insekten ist, daß sie sechs Beine (3 Beinpaare) besitzen. Sie werden darum als *Hexapoden (Hexapoda)* bezeichnet, was auf Griechisch „mit sechs Füßen" bedeutet. Dieses Merkmal zeigen alle Insekten, die geflügelten ebenso wie die ungeflügelten. Dies ist von großer Bedeutung, wenn man die Insekten mit den geflügelten Tetrapoden vergleicht, bei denen sich die Flügel als Umbildungen aus den Vorderextremitäten entwickeln und nicht als eigenständige Körperteile. Die Flügel von Insekten sind eine ganz und gar eigenständige Einrichtung. Man vermutet, daß sie umgebildete Kiemen sind und daß der Ursprung der geflügelten Insekten bei uralten und unbekannten, im Wasser lebenden Gliederfüßern anzusetzen ist.

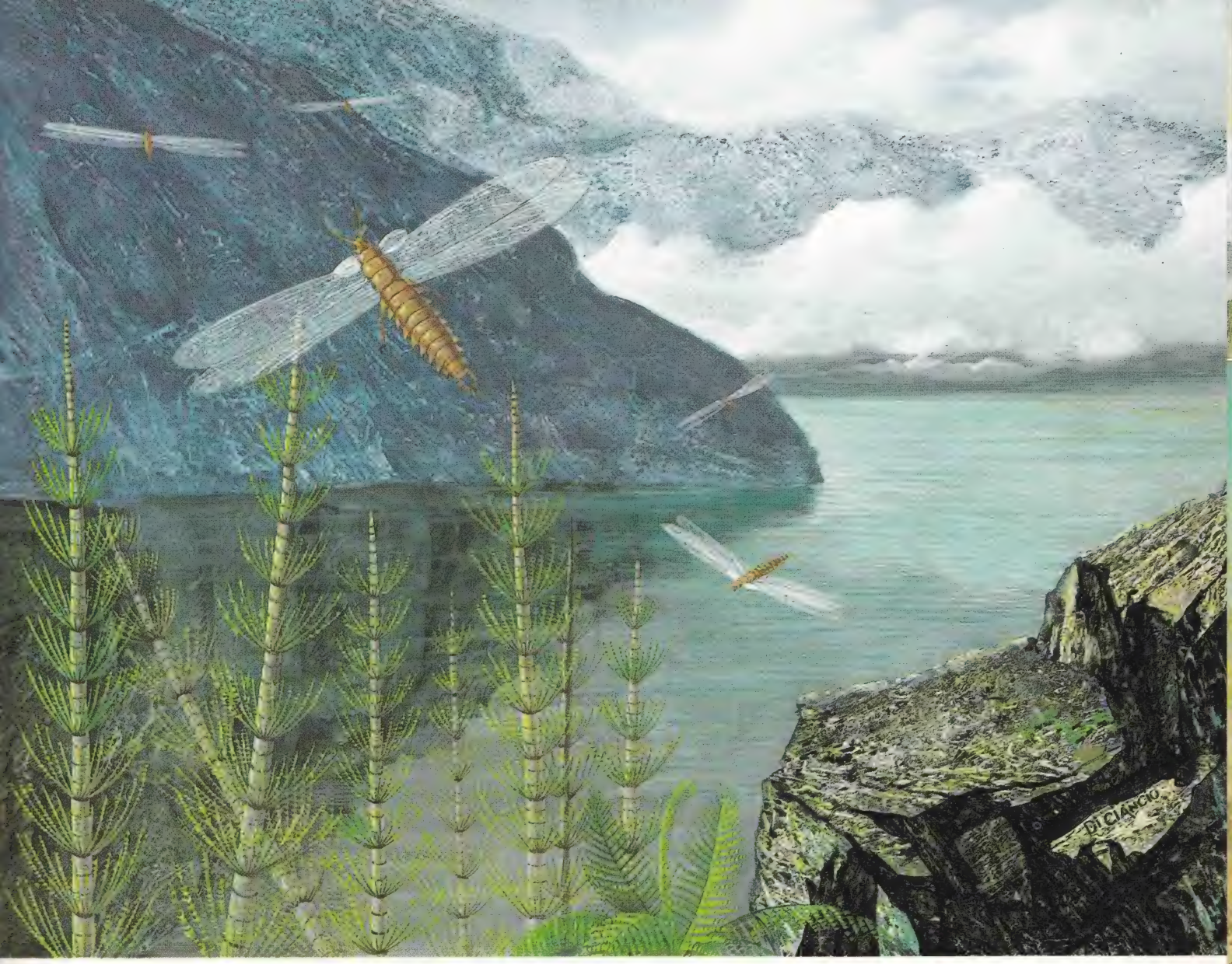
Im Karbon waren die Flügel der Insekten schon so vollkommen ausgebildet wie bei den heutigen Grashüpfern und Libellen. Bei manchen Insekten zeigte sich die Tendenz, ein zusätzliches Paar Flügel zu entwickeln. Unsere heutigen Insekten besitzen drei Beinpaare, jedoch nur zwei Flügelpaare, was ein allgemeines Naturgesetz zu sein scheint, gegen das niemals verstoßen wird. Tatsächlich aber gibt es auch Insekten, die nur ein Paar Flügel zu haben scheinen. Bei ihnen wurde das zweite Paar in ein flugstabilisierendes Organ umgewandelt (z. B. bei den Fliegen und den Moskitos). Es gibt jedoch keine Insekten mit drei Paar Flügeln. Eine solche Entwicklungsstufe zeigt sich nur in ganz seltenen Fällen mit Ausbildung flügelähnlicher Körperanhänge, und zwar andeutungsweise bei den heutigen Schaben.

Ein kleines Karboninsekt, die Mischoptera. Obgleich sie einer ausgestorbenen Gruppe angehört, zeigt sie eine gewisse Ähnlichkeit mit der heutigen Eintagsfliege.



Eine solche Vielzahl von Flügeln gibt es also in unserer heutigen Tierwelt überhaupt nicht. Doch im Karbon zeigten sich Ansätze in dieser Richtung. Die *Stenodictya z. B.,* ein Insekt aus dem Pennsylvanian, besaß drei Paar „Flügel", von denen nur das zweite und das dritte Paar beim Fliegen benutzt wurden. Das erste Paar (das bei den heutigen Insekten nicht mehr vorhanden ist) bildete zwei kurze, steife „Flügel", deren Funktion unbekannt ist. Halfen sie vielleicht dem Insekt, das Gleichgewicht beim Fliegen zu halten wie das zweite Paar verkümmerter Flügel bei unseren heutigen Fliegen? Die mangelhafte Ausbildung des ersten Paares scheint darauf hinzudeuten, daß der Versuch, einen Flügel für jedes Bein zu entwickeln, ein Fehlschlag war. Dies hätte vielleicht einen Körperteil ergeben, der das Fliegen erschwerte. Wie auch immer, jenes zusätzliche Flügelpaar ist ohnehin im Verlaufe der Evolution verschwunden.

Stenodictya gehörte zu der ausgestorbenen Ordnung der *Urflügler (Palaeodictyoptera),* die auch einige andere seltsame und manchmal riesenhafte Insekten umfaßte. Die allergrößten von ihnen waren zugleich



Stenodictya lobata, ein wunderhübsches Insekt aus der Periode des Pennsylvanians. Es gehörte zu der jetzt ausgestorbenen Ordnung der Palaeodiptera.

die größten Insekten überhaupt, die je gelebt haben: die *Riesenlibellen* oder *Meganeura,* die in ihrer äußeren Erscheinung unseren Libellen stark ähnelten. Ihre Flügelspannweite betrug 70 cm, eine beträchtliche Größe, verglichen mit der Flügelspannweite unserer heutigen Libellen, die in den gemäßigten Zonen nicht mehr als 10 cm und in tropischen Gegenden höchstens 20 cm beträgt.

Insekten und Wirbeltiere im Karbon

Im Karbon lebten neben den Urflüglern und den winzigen, flügellosen Insekten des Devons die Urahnen unseres Grashüpfers bzw. unserer Heuschrecke, unserer Grille und Schabe, unseres Maikäfers und der rezenten Libellen in großer Anzahl – genau wie die Insekten in den heutigen Wäldern. Manche von ihnen lebten räuberisch, andere fraßen Blätter, und wieder andere vertilgten tote Baumstämme und Zweige.

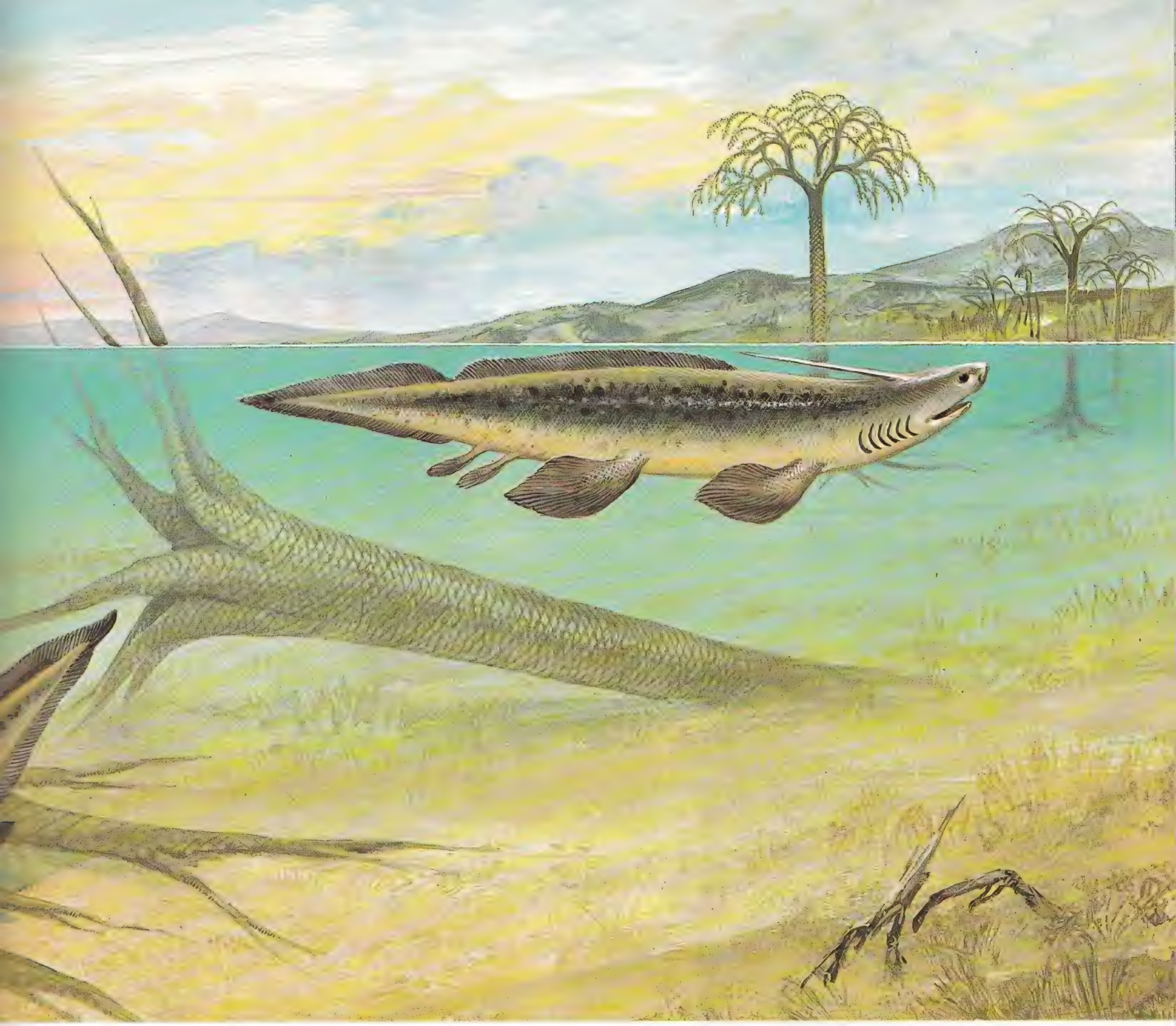
Genau wie für die Gliederfüßer war auch für die Wirbeltiere das Karbon ein Zeitalter seltsamer Gegensätze: Manche Arten „explodierten" buchstäblich, andere gingen ihrem Ende entgegen. Während die

Oben: Der Uronemus lobatus, ein Lungenfisch aus der Periode des Mississippians. Lungenfische existieren noch heute. Sie hatten ihren Höhepunkt im Mississippian. Im Pennsylvanian waren sie bereits stark dezimiert.

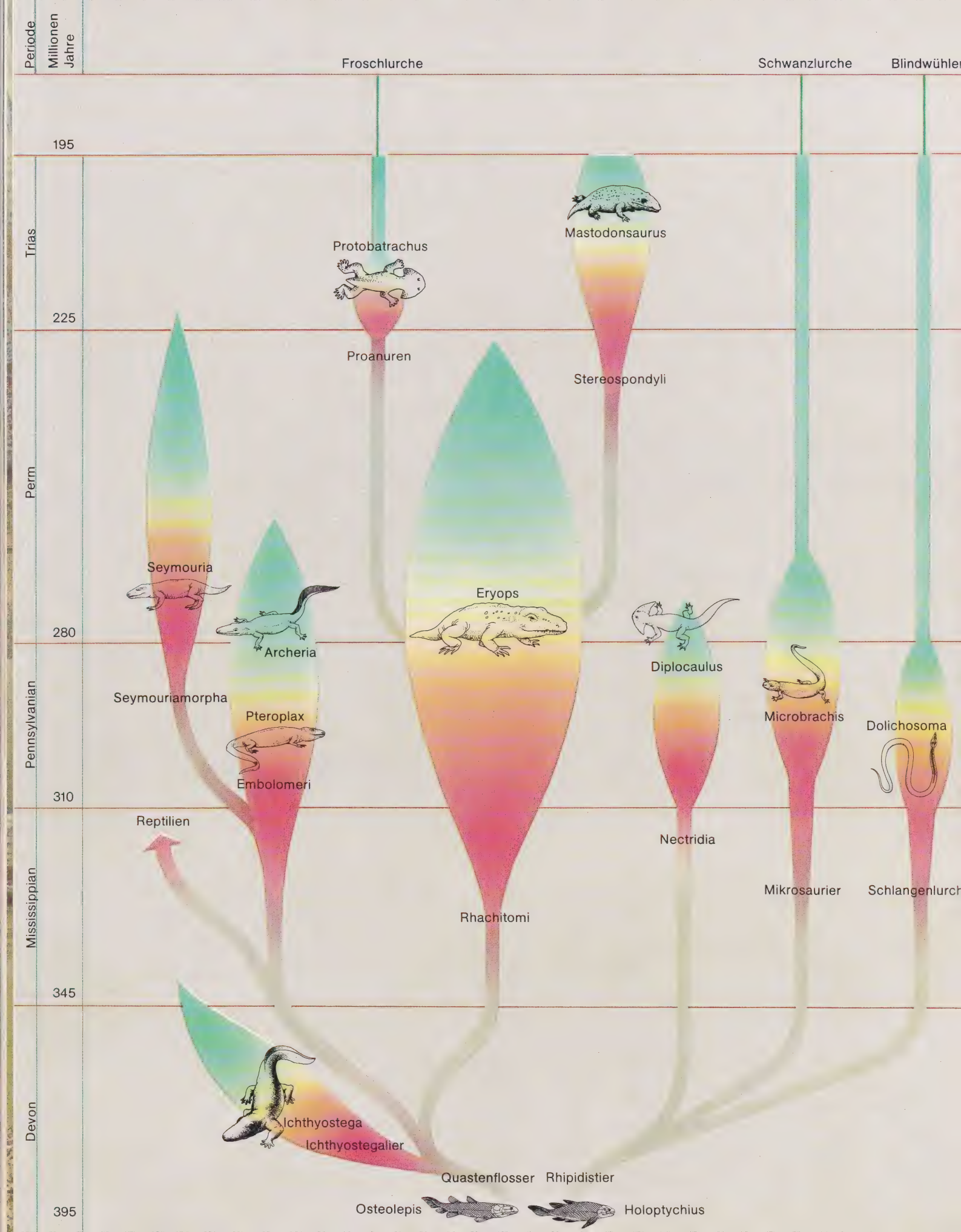
Rechts: Rekonstruktion des Pleuracanthus in seiner pennsylvanischen Umgebung. Wahrscheinlich wagte sich dieser Fisch auf der Suche nach Beute in die seichten Gewässer des überschwemmten Flachlands vor. Aus dem Wasser ragen die für diese Periode typischen Bäume empor.

Tetrapoden sich auf die Zukunft hinbewegten, verschwanden von den Panzerfischen alle Spuren, und es blieben nur einige unbedeutende Agnathen übrig. Die Lungenfische und die Quastenflosser entgingen diesem Schicksal nur mit Mühe. Obwohl sie im Mississippian immer noch stark vertreten waren, nahm ihre Zahl im Pennsylvanian sehr schnell ab. Nachdem sie die Lungenatmung „entdeckt" hatten, erschienen sie auf der Bühne des Lebens nur noch in kleinen Nebenrollen.

Die meisten Fische fanden wieder zum Meer zurück, und die Sonne schien zum letzten Mal auf ihre sagenhafte Süßwasserwelt, obwohl es in den Lagunen und Flüssen des Karbons immer noch Lebewesen gab, die Haien ähnelten. Die zu den Knorpelfischen gehörenden *Pleuracanthodii* waren in den Binnengewässern stark verbreitet. Da sie entfernte



Nachkommen von Cladoselache waren, verband sie auch eine Verwandtschaft mit dem Hai, obwohl sie in ihrer körperlichen Erscheinung auch etwas mit den Lungenfischen und den Quastenflossern gemeinsam hatten. Sie besaßen vier große, gleich geformte Flossen, die Füßen entsprachen und die sie zum „Gehen" benutzten, wenn sie sich in seichten Flußbetten bewegen mußten, wo ein Gestrüpp von Wasserpflanzen und großen Baumwurzeln das Schwimmen zum Problem machte. Ihre Köpfe wurden von einem starken, schräg nach hinten gerichteten Knochen geschützt. Sie waren mit rund 75 cm Körperlänge relativ klein, und die großen Amphibien, die auch im Süßwasser lebten und manchmal eher einem Krokodil als dem heutigen Salamander glichen, stellten wohl eine gefährliche Konkurrenz für sie dar.


Periode
Millionen Jahre
Froschlurche
Schwanzlurche
Blindwühler
195
Trias
225
Perm
280
Pennsylvanian
310
Mississippian
345
Devon
395
Protobatrachus
Mastodonsaurus
Proanuren
Stereospondyli
Seymouria
Archeria
Eryops
Diplocaulus
Microbrachis
Dolichosoma
Seymouriamorpha
Pteroplax
Embolomeri
Reptilien
Nectridia
Mikrosaurier
Schlangenlurch
Rhachitomi
Ichthyostega
Ichthyostegalier
Quastenflosser
Rhipidistier
Osteolepis
Holoptychius

Die Amphibien entfalten sich, und die Reptilien erscheinen

Die zwei Bäume der Amphibien

Im ersten Kapitel dieses Buches erfuhren wir, daß die *Amphibien (Lurche)* von Anfang an zwei völlig verschiedene Gruppen bildeten. Jetzt werden wir sehen, was aus diesen Gruppen geworden ist. Wir wollen uns dazu zwei benachbarte, aber gänzlich verschiedene Bäume vorstellen. Der eine ist groß, mit dicken Ästen und einer dichten Krone; der andere ist schlank, mit schwach entwickelten Zweigen und von nur durchschnittlicher Größe. Dieser Vergleich macht deutlich, wie sich die beiden Unterklassen der Lurche entwickelt haben, die in Karbonschichtungen gefunden und wegen der Struktur ihrer Rumpfwirbel in der wissenschaftlichen Nomenklatur als Lepospondyli und Aspidospondyli bezeichnet wurden.

Die *Lepospondyli* entsprechen dem kleineren Baum, der allem Anschein nach kurz nach dem Ende des Pennsylvanians verschwand. Jedoch überlebten durch unzählige Generationen hindurch zwei unbedeutende Zweige dieses Baumes bis in unsere Zeit. Sie werden heute durch die *Schwanzlurche* (z. B. Molche und Salamander) und andere Gruppen, manche von ihnen ohne Füße, vertreten. Unter all diesen Lebewesen ähnelt der *Wassermolch* den paläozoischen Lepospondyli am meisten. Betrachten wir uns einen von ihnen in einem Teich: schlank, aerodynamisch, mit zierlichen, kleinen Füßen, ein tüchtiger Schwimmer, flink und von leuchtender Farbe. Und nun projizieren wir dieses Bild über die Jahrmillionen hinweg ins Zeitalter des Pennsylvanians: Wir erblicken, nur leicht abgewandelt, die ausgestorbene Welt der Lepospondyli im Karbon.

Die bekanntesten Vertreter der Lepospondyli im Paläozoikum waren die *Nekturiden,* kleine Lebewesen mit gut entwickeltem Schwanz, der seitlich abgeplattet war. Am gelungensten war wohl der *Urocordylus,* der in den Lagunen Europas lebte und eine (im Vergleich mit seinen Verwandten) stattliche Länge von 50 cm erreichte. Sein Schwanz war länger als sein Körper, seine Gliedmaßen waren kurz und schwach entwickelt. Er war jedoch ein hervorragender Schwimmer und lebte ständig im Wasser. Wahrscheinlich hatte er, wie der heutige Wassermolch, eine leuchtende Färbung.

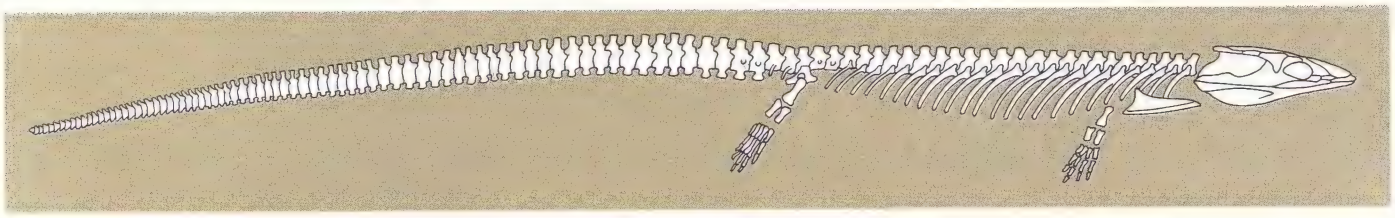
Die Entwicklung der Amphibien im Erdaltertum und im Erdmittelalter. Dieses Diagramm hält sich an eine der anerkanntesten Theorien, obwohl nicht alle Wissenschaftler mit der Verknüpfung der verschiedenen Gruppen einverstanden sind, da eine vollständige Fossildokumentation fehlt. Die Seymouriamorphagruppe wird hier direkt mit den Amphibien verbunden, obwohl wir noch nicht wissen, ob diese Gruppe aus Amphibien oder Reptilien bestand. Von unten beginnend, zeigen die Linien, wie sich die verschiedenen Formen aus zwei getrennten Gruppen von Rhipidistiern aus der Ordnung der Quastenflosser (Krossopterygier) entwickelt haben.

Amphibien wie Eidechsen und Schlangen

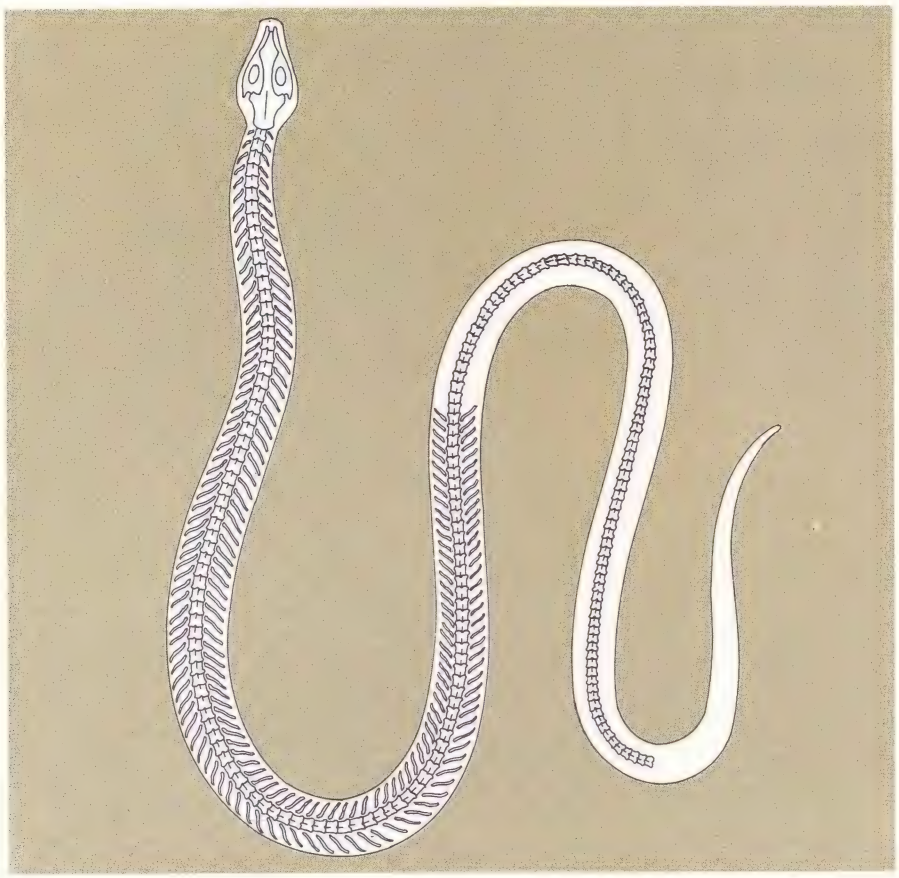
Eine zweite Gruppe der Lepospondyli, die *Microsauria (Kleinsaurier),* umfaßte kleine Lebewesen, die man zuerst für Reptilien hielt. Sie glichen winzigen Eidechsen und waren oft nur 2–3 cm lang. Der bekannteste Vertreter dieser Ordnung, *Microbrachis,* brachte es immerhin auf 15 cm Körperlänge. Die Gliedmaßen dagegen waren kurz und schwach. Fossilien von Microbrachis wurden fast immer zwischen den versteinerten Zweigen von Sigillarien gefunden, wo sich der Schlamm von Sümpfen angesammelt hatte, damals, als die riesigen Pflanzen verfaulten. Die Überreste dieser winzigen Lurche wurden, zusammen mit kleinen Muscheln, Myriapoden und Würmern, während der großen Überflutungen vom Wasser in die Baumhöhlen hineingeschwemmt.

Die dritte Ordnung der Lepospondyli bildeten die *Aistopoden* oder *Schlangenlurche.* Es handelte sich um seltsame Lebewesen mit spitzem Kopf und langem, wendigem Körper. Gliedmaßen und Knochengürtel, die die meisten Tetrapoden besaßen, fehlten diesen Tieren völlig. Wir

Oben: Ein heutiges Amphibium, der Berg- oder Alpenmolch (Triturus alpestris) in seiner Wassertracht.



Oben: Das Skelett eines Urocordylus, eines Vertreters der Lepospondyli. Auffallend ist der äußerst spitz zulaufende Körper dieses Tiers, mit schwachen Beinen und einem langen Schwanz.



Links: Das Skelett von Dolichosoma, einem Amphibium, das Schlangenform entwickelt hatte. Hier gibt es von Beinen keine Spur mehr; auch Schulter- und Beckengürtel, typisch für Tetrapoden, sind verschwunden.

werden hier mit einer der vielen Überraschungen in der Geschichte der Evolution konfrontiert. Wir wissen, daß die Vorfahren der Aistopoden Gliedmaßen wie der Urocordylus und Microbrachis besaßen und daß diese Gliedmaßen sich erst in einem langwierigen Evolutionsprozeß entwickelt hatten. Deshalb ist es ziemlich verblüffend festzustellen, daß diese wichtige Errungenschaft von einer Gruppe der Tetrapoden so schnell wieder aufgegeben wurde. Allerdings waren bei einigen Lebewesen (wie Microbrachis) die Gliedmaßen schon ziemlich verkümmert, und die Tiere bewegten sich hauptsächlich durch Vorwärtsschlängeln fort. Die Aistopoden, die in dieser Richtung einen Schritt weitergegangen waren, wurden zu regelrechten Schlangen.

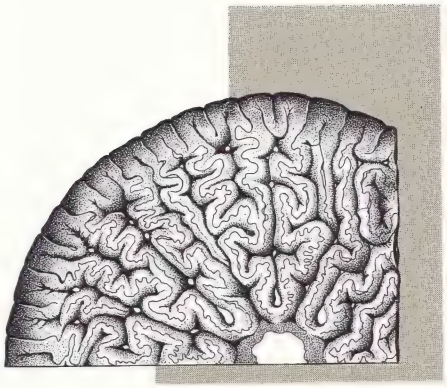
Diese kuriosen Lebewesen wurden in Schichtungen aus dem Pennsylvanian sowohl in Europa als auch in Amerika gefunden. Früher vermutete man, daß sie ständig in den Sümpfen gelebt und sich dort im Wasser wie Aale bewegt hätten. Eine nähere Betrachtung ihrer Anatomie

Abbildung auf den beiden folgenden Seiten: Darstellung einer Gruppe von Urocordyli, Microbrachis und Dolichosoma am Ufer einer Lagune des Pennsylvanians.

aber zeigte, daß dies nicht der Fall war. Heute meint man, daß sie entweder am Ufer der Tümpel und Lagunen, im Schlamm eingegraben, oder sogar noch etwas weiter weg vom Wasser, zwischen verfaulenden Pflanzenteilen im Gestrüpp gelebt hätten. Ihr langer, schlangenartiger Körper war sehr nützlich, da sie damit auf der Suche nach Beute – die wahrscheinlich aus Würmern, Insekten und Schnecken bestand – in jede Ritze kriechen konnten.

Die großen Labyrinthzähner in den Sümpfen

Am Anfang des letzten Jahrhunderts wurden einige Schädel, die denen von Krokodilen glichen (sie waren lediglich massiger und gedrungener), in Gesteinsablagerungen aus dem Karbon entdeckt. Es handelte sich um die Überreste großer Amphibien, die von da an als *Stegozephalen* (was etwa „bedeckter oder gepanzerter Kopf" bedeutet) bezeichnet wurden. Die synonyme Bezeichnung *Labyrinthodontia (Labyrinthzähner)* wurde hinzugefügt wegen der seltsamen Struktur ihrer scharfen Zähne, deren Zahnschmelz und Dentin komplizierte Falten bildeten: Wenn man einen ihrer Zähne aufschneidet, liefert das Querschnittsbild einen interessanten Anblick: Der Beobachter gewinnt den Eindruck, den Grundplan



Oben: Teilausschnitt eines labyrinthisch strukturierten Zahns. Sowohl die Rhipidistier als auch die Labyrinthzähner hatten Zähne dieser Art.

Links: Amphibien in einem Sumpf des Pennsylvanians. Riesige Anthrakosaurier schwimmen langsam im stehenden Gewässer herum; einer von ihnen hat gerade einen Dolichosoma gepackt. Um das Wasser herum wachsen die typischen Pflanzen dieser Periode: Kalamiten, Siegelbäume und Farne.

eines jener Irrgärten vor sich zu haben, die man oft in den Gartenanlagen alter Herrenhäuser findet. Die Zähne der direkten Vorfahren der Labyrinthodontia, der Rhipidistier, wiesen genau die gleiche Struktur auf.

Mit den Labyrinthzähnern sind wir jetzt bei der Entwicklungsgeschichte der Amphibien angelangt; und dies ist in der Tat ein sehr bedeutender Abschnitt. Über Millionen und Abermillionen von Jahren hin bildeten sie die Unterklasse der *Aspidospondyli.* Heute werden sie, da dieselben seit langem ausgestorben sind, nur noch durch bescheidene Verwandte wie Frösche und Kröten repräsentiert. Ihre frühesten Vertreter entwickelten sich im späten Devon. Es waren die bereits beschriebenen *Ichthyostegalia (Fischschädellurche).* Im Karbon zweigte sich dann die Gruppe der *Embolomeri* von den Ichthyostegalia ab. Diese Ordnung war dann überaus bedeutsam für die nachfolgende Evolution der Tetrapoden. Von Anfang an nämlich wiesen ihre Vertreter durch ihre Skelettstruktur auf das Reptil hin.

Zu den ersten Embolomeren gehört der *Anthracosaurus (Kohlenechse).* Er wurde in pennsylvanischen Schichtungen in England gefunden. Der Schädel dieser Lebewesen war 50 cm lang, und ihre Haut war

Unten: Skelett und Körperumrisse eines Branchiosaurus amblystomus. Die äußeren Kiemen sind an beiden Seiten des Halses in Form sich auffächernder Büschel sichtbar. Dieses Exemplar befindet sich in Wirklichkeit in der Kaulquappenphase der großen Amphibien.

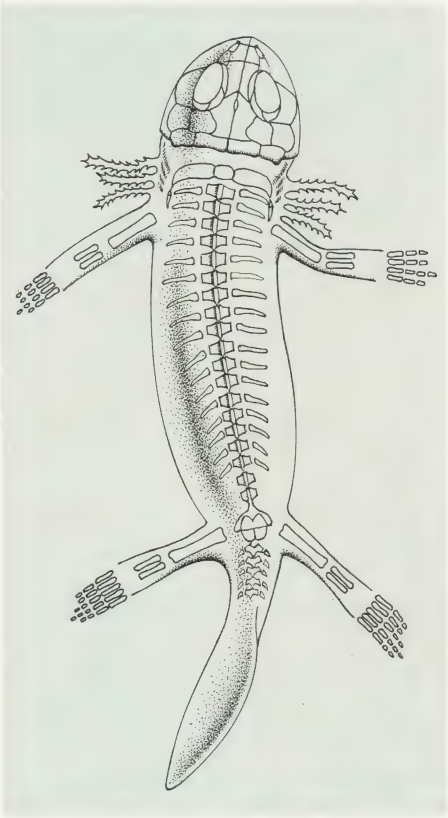
gepanzert wie bei den Ichthyostegalia und ihren Rhipidistiervorfahren. Ihr Leben verbrachten sie hauptsächlich im Wasser, was die dicht beieinanderliegenden Augenhöhlen oben auf dem abgeplatteten Schädel bestätigen. Als Raubtier war der Anthracosaurus wahrscheinlich, was seine Beute betraf, nicht wählerisch. Er wird Fische und auch kleinere Lepospondyli gejagt haben.

Ähnliche Eigenschaften besaß der *Pteroplax,* auch als *Eogyrinus* bekannt, der etwa 4,50–5 m lang war (auch er wurde in pennsylvanischen Schichtungen in England gefunden). Seine Gliedmaßen waren klein und schwach, also zum Gehen gänzlich ungeeignet, während der Schwanz, der seitlich zusammengedrückt war, auf einen kräftigen Schwimmer hindeutet. Aus diesen körperlichen Merkmalen kann man schließen, daß auch der Pteroplax sein Leben im Wasser oder in Wassernähe verbrachte.

Die Rhachitomamphibien

Eine bestimmte Amphibiengruppe zeigte keine große Neigung, im Wasser zu dominieren; statt dessen entwickelten ihre Angehörigen eine ausgesprochene Begabung, sich als auf dem Land lebende Tiere durchzusetzen, wahrscheinlich herausgefordert durch ungünstige Umweltbedingungen. Wir meinen die Gruppe der *Rhachitomi* oder *Temnospondyli.* Sie hatten sich von den Embolomeren im unteren Karbon abgespalten und dabei im Laufe der Zeit immer tiefgreifendere Veränderungen erfahren. Schließlich hatten sie dann die ganze Weite des Festlands vor sich, das darauf wartete, von ihnen erforscht und erobert zu werden.

Die Schichtungen aus dem oberen Karbon haben zahlreiche Fossilien von kleinen Labyrinthodontia mit runden Köpfen zutage gebracht, die sich in verschiedenen Entwicklungssphasen befanden. Bei manchen zeigten sich die Ansätze von äußeren Kiemen an den Seiten des Halses, ähnlich wie in einem frühen Stadium bei Kaulquappen. Solche Lebewesen wurden *Branchiosaurier* genannt, von denen man lange Zeit glaubte, daß sie eine Gruppe für sich bildeten. Heute sind jedoch die Wissenschaftler der Meinung, daß die Branchiosaurier nichts anderes waren als Vertreter verschiedener Phasen von jungen Rhachitomamphibien. Die falsche Klassifizierung kam dadurch zustande, daß in den Erdschichten, die viele Branchiosaurier beherbergten, wenige oder keine erwachsenen Exemplare gefunden wurden; so war eine genaue Zuordnung unmöglich. Diese Fehleinschätzung ist leicht zu erklären. Die Gewohnheiten der Rhachitomilarven sind nämlich ganz und gar wasser-, die der erwachsenen Tiere hingegen landbezogen. Die Larven wurden wahrscheinlich alle miteinander, so wie sie aufgefunden wurden, im alluvialen Schlamm begraben, wohingegen nur wenige Körperteile von ausgewachsenen Tieren vom Wasser aufgenommen und fortgetragen wurden; sie werden sich in den meisten Fällen vorher aufgelöst haben, da sie der Luft ausgesetzt waren.



Wir werden uns im folgenden mit der Blütezeit der Rhachitomi in der unmittelbar an das Pennsylvanian anschließenden Periode beschäftigen. Zuvor jedoch wollen wir etwas genauer untersuchen, was sich in den Binnengewässern oder am Ufer der Sümpfe und Flüsse im Pennsylvanian abgespielt hat: Mit dem Aufblühen der Tetrapoden hatten sich im Karbon bis dahin unbekannte Ökosysteme gebildet. Die Tetrapoden bildeten dabei das oberste Glied der Nahrungskette. Kleine Amphibien fanden in den Insekten, Würmern und Süßwasserschnecken, von denen es inzwischen sehr viele gab, eine reichliche Nahrungsquelle.

Die größeren Amphibien fraßen die kleineren Amphibien und Fische ihrer Umgebung, obwohl sie auch die größeren Insekten, wie z. B. Meganeura, nicht verschmähten.

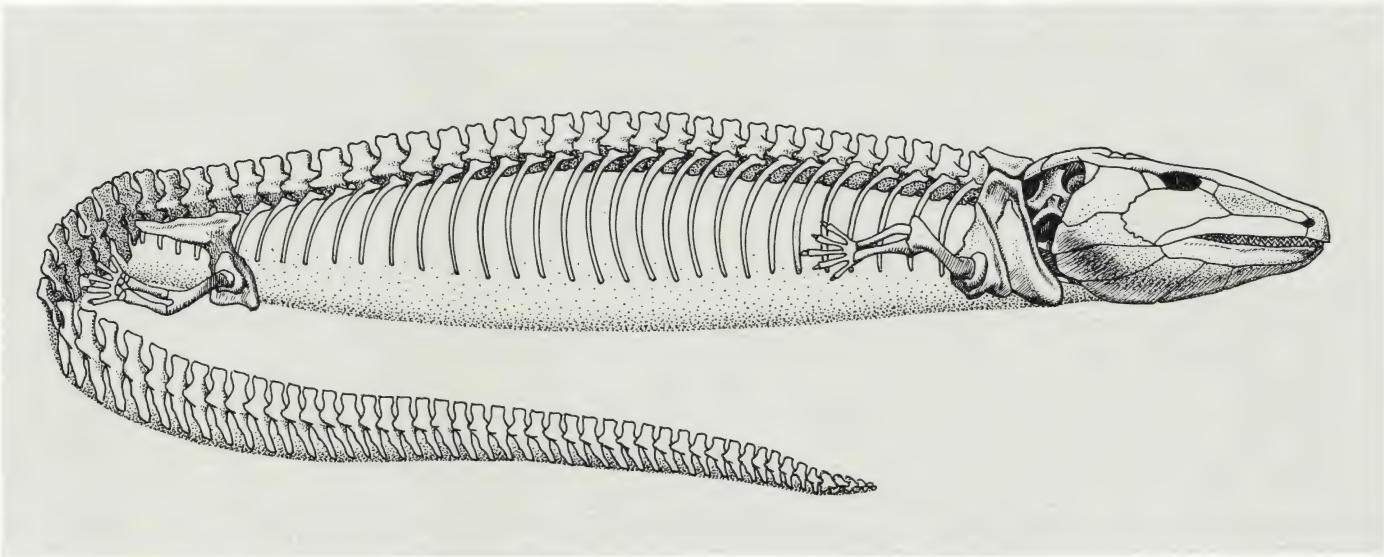
Von den Amphibien zu den Reptilien

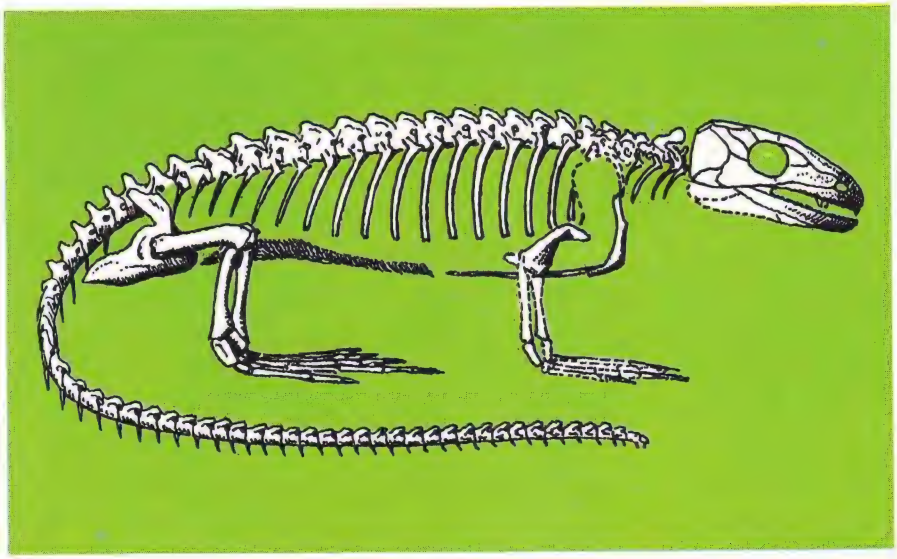
In den Fußstapfen der Rhachitomi trennte sich eine weitere Gruppe äußerst interessanter Lebewesen, die *Seymouriamorpha,* vom Stamm der Embolomeren im Karbon ab. Das Knochengerüst dieser Lebewesen ähnelte dem der Reptilien so sehr, daß man nicht genau weiß, ob man sie als Reptilien oder Amphibien klassifizieren soll. Ihr erster Vorfahr war der *Diplovertebron* des Pennsylvanians, ein 1,50 m langes Lebewesen, das eher zu den Embolomeren als zu den Reptilien gehörte und darum ganz und gar noch Amphibium, also an das Wasser gebunden war. Seine kräftig entwickelten Gliedmaßen und sein Schädel glichen noch immer denen der Rhipidistier. Dieser Bewohner der pennsylvanischen Sümpfe vereinte in sich eine seltsame Mischung von primitiven und hochentwikkelten Eigenschaften.

Zweifellos stellte die Gruppe, die von ihm abstammte, einen der vielen Versuche der Tetrapoden dar, ein für allemal auf das feste Land zu übersiedeln. Leider kam dieser Versuch zu spät, um in der Geschichte des Lebens von Bedeutung zu sein. Vor der Zeit des Diplovertebron nämlich erschien eine andere Gruppe auf der Bühne des Lebens, deren Mitglieder sich tatsächlich schon von ihrer Wasserabhängigkeit freigemacht hatten und deshalb als die wahren Pioniere in den Trockengebieten angesehen werden müssen. Es waren die *Reptilien.*

Im mittleren Karbon gab es ein Lebewesen, dessen Knochenstruktur eindeutig reptilienhaft war. Es war der *Hylonomus,* eine Art von gedrungener Eidechse, etwa 45 cm lang. Der allgemeinen Erscheinung nach ähnelte er den Embolomeren, er besaß jedoch Füße mit langen, beweglichen Zehen wie die heutigen Leguane. Im Pennsylvanian folgten auf den Hylonomus andere Lebewesen gleicher Art, die wie die Rhachitomi Jagd auf kleinere Beutetiere machten. Dabei mußten sie weit ins Hinterland eindringen – in trockene Wälder und von der Sonne ausgedörrte Lichtungen.

Skelett und Konturen des Körpers von Pteroplax (auch Eogyrinus genannt), eines großen, 4,5 m langen pennsylvanischen Amphibiums aus Europa. Dieses Tier war ausschließlich an das Wasser gebunden, was seine winzigen, schwachen Gliedmaßen und sein langer, seitlich abgeflachter Schwanz bestätigen.





Skelett eines Hylonomus, eines primitiven Reptils, das im mittleren Karbon lebte.

Auch diese Tetrapoden stammten von den Ichthyostegalia und Embolomeri ab. Wir wissen dies mit Sicherheit; denn zur Evolution der Reptilien führt kein anderer Weg. Aber wann setzte diese selbständige Entwicklung ein, und welche Phasen durchlief sie? Vorläufig haben wir auf diese Fragen keine Antworten; denn es fehlen uns sämtliche Fossilienzeugnisse. Die Seymouriamorpha könnten als interessante Zwischenglieder gedeutet werden, wären sie nicht, wie wir bereits sagten, viel zu spät auf den Plan getreten. Tatsächlich datiert man sie in ihren typischsten Formen, halb Amphibium, halb schon Reptil, sogar später als in das Karbon. So herrscht zwar die einhellige wissenschaftliche Überzeugung, daß die Reptilien zuerst im Karbon auftauchten, aber es ist unmöglich, die Zwischenstadien zum Reptil hin zu rekonstruieren.

Das Reptilienei

Das eigentliche Problem ist, wie Amphibium und Reptil entwicklungsgeschichtlich zu verbinden sind. Man könnte meinen, dieses Problem sei einfach zu lösen, wenn man nur Zwischenglieder fände. Eine solche Folge von Veränderungen in der Skelettform oder Schädelstruktur mag in anderen Fällen die Lösung bedeuten, nicht aber hier. Es wäre wohl wichtig, aber nicht entscheidend, eine solche Folge nachweisen zu können.

Man müßte zunächst einmal genau festlegen können, in welchem Augenblick die Tiere, die das Wasser allmählich verließen, anfingen, Eier zu legen, die an trockenen Orten ausgebrütet werden konnten. Wir sprachen schon von der ungeheuerlichen Bedeutung dieses Übergangsstadiums in Verbindung mit den Ichthyostegen. Leider stammen jedoch die bis jetzt ältesten fossilen Eier aus der Zeit nach dem Pennsylvanian. So können wir bestenfalls sagen, daß das Vorkommen des typischen Reptilieneies höchstwahrscheinlich vor der Zeit des Hylonomus anzusetzen ist, was uns dann auf die Frage bringt, ob diese außerordentliche Erfindung der Natur nicht schon im unteren Karbon gemacht wurde.

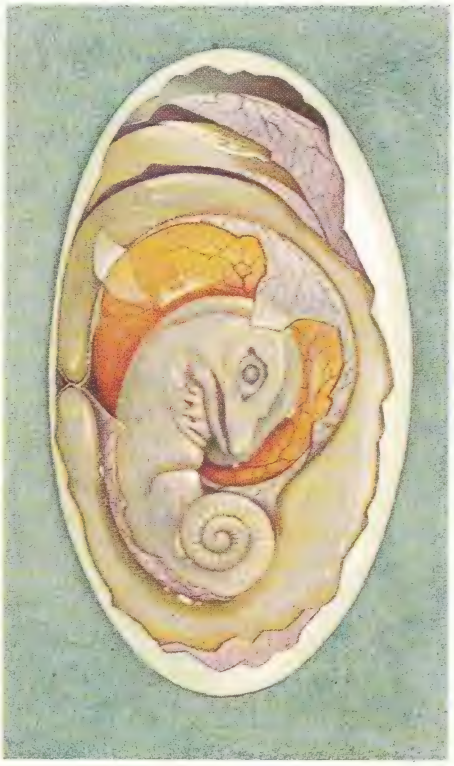
Um eine Vorstellung von den Eigenschaften eines solchen Eies zu bekommen, wollen wir uns ein *Hühnerei* genauer ansehen, das mit dem

Rechte Seite: eine Gruppe von Diplovertebron in einer pennsylvanischen Umgebung. Diese Tiere waren große Amphibien (1,5 m lang), die den Weg für eine Nachkommenschaft von Tieren mit gemischten reptilienartigen und amphibischen Eigenschaften bahnten.

DI GIANCIO

Rechts: Wenn Reptilien und Vögel aus dem Ei schlüpfen, sind sie schon vollständig ausgebildet. Hier die Aufnahme einer Schildkröte im Augenblick des Ausschlüpfens.

Unten: Längsschnitt durch ein Alligatorei. Hier wird gezeigt, wie sich der Embryo bildet. Auch die verschiedenen Embryonalhüllen und der Dottersack sind klar zu erkennen.



Reptilienei eng verwandt ist: Die poröse Kalkschale umschließt die feinen Lebensstrukturen so, daß sie zwar geschützt, aber nicht von der umgebenden Atmosphäre isoliert sind. Da die Schale luftdurchlässig ist, wird der sich entwickelnde Organismus im Innern ausreichend mit Luft versorgt. Dieses Innere des Eies ist in zwei Schichten angeordnet: Die äußere, von einer dünnen Membran umhüllte Schicht ist das gallertartige *Eiweiß* (Albumin), die innere, vom Eiweiß umschlossen, der kugelförmige *Eidotter,* hellgelb oder orangefarben. Der Eidotter wird von zwei festen, gedrehten Eiweißschnüren so gehalten, daß er mitten im Ei aufgehängt ist. Auf dem Dotter liegt als kleiner, weißlicher Fleck die *Keimscheibe* oder der *Hahnentritt;* darin befindet sich der *Eikern.* Der Dotter selbst ist die Eizelle und enthält die Vorratsstoffe für den Aufbau und die Ernährung des Keims. Nur die Keimscheibe, die den Eikern enthält, kann bei einer Befruchtung des Eies neues Leben hervorbringen, das dann während seiner Entwicklung die nötigen Aufbaustoffe aus den anderen Teilen des Eies aufnimmt.

Wenn ein befruchtetes Ei ausgebrütet wird, dienen während der Brutzeit alle seine Anlagen der Entwicklung des Embryos. Er wird vom Dotter genährt, das Eiweiß liefert das nötige Wasser, die Schale schützt ihn. Schon am dritten Tag ist der kleine Keimling von einer mit Flüssigkeit gefüllten Membran, dem *Amnion,* umgeben. Zwei andere Membranen im Ei, das *Chorion* und die *Allantois,* dienen der Atmung des Embryos und der Aufnahme der Abfallstoffe. Luft zum Atmen dringt durch die Schale ein, die dank ihrer porösen Eigenschaft einen ständigen Luftaustausch ermöglicht. Innerhalb von 21 Tagen entwickelt sich in dieser perfekten „Kleinfabrik" ein vollständiges Küken, das sich dann mit Hilfe seines Eizahns aus der Schale befreit.

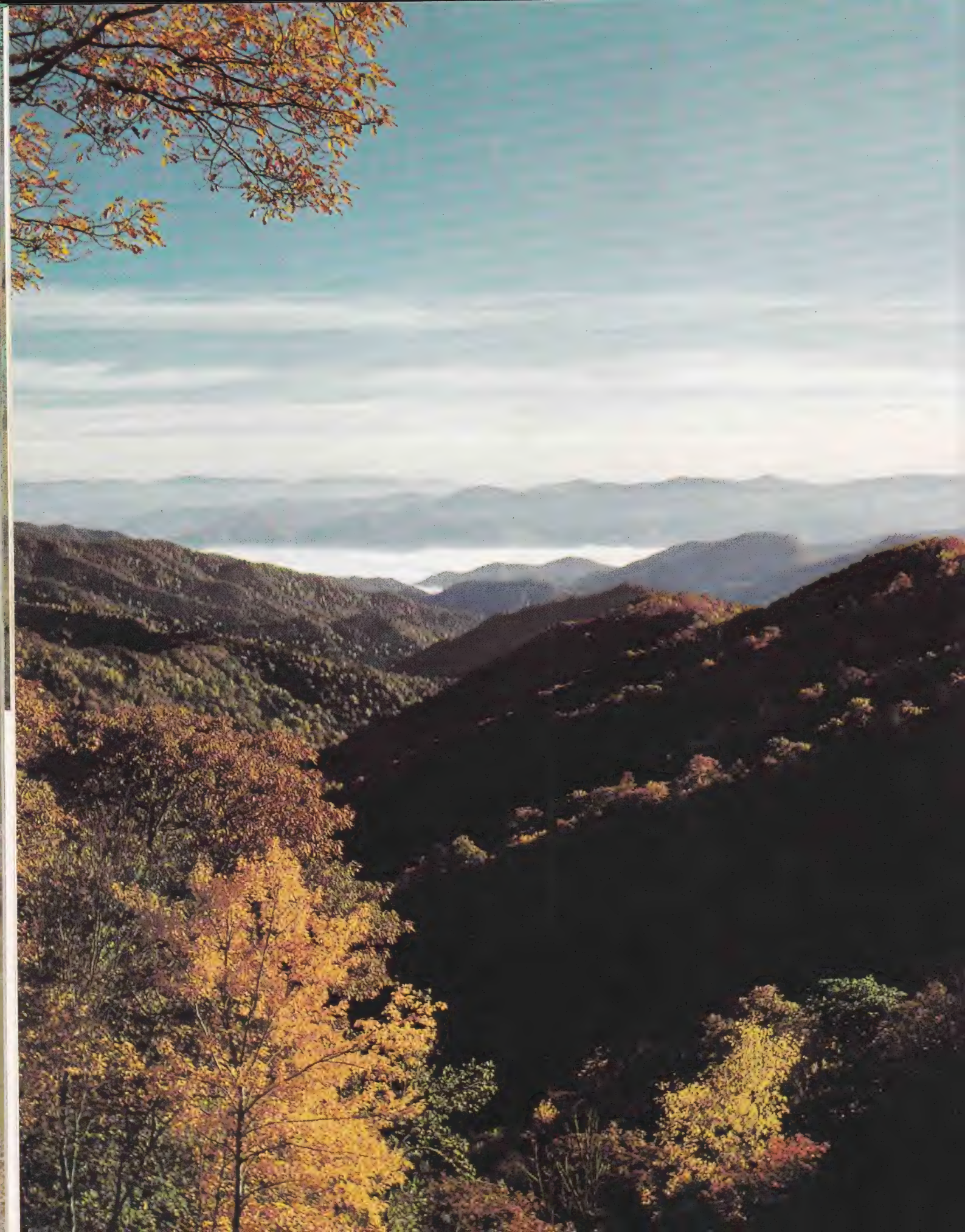
Mit einem solchen *Amniotenei* gelang es den Reptilien, endlich den Übergang vom Leben im Wasser zum Leben auf dem Land zu vollziehen. Aber wie kam ein solches Fortpflanzungssystem im Karbon zustande? Wie konnte es die uralte „Sumpfwiege" ersetzen und neue Lebewesen hervorbringen, die auf einem weit ausgedehnten, ungeschützten Land lebten, auf das die heiße Sonne unaufhörlich herabstrahlte und wo

Die Landschildkröte (Geochelone elephantopus) der Galapagosinseln. Diese Schildkröten wiegen bis zu 225 kg und bewegen sich äußerst langsam (rund 300 m in der Stunde)

besondere Schutzmechanismen gegen das Austrocknen lebenswichtig waren?

Es gibt keine eindeutige Antwort. Vielleicht geschah es, als einige amphibische Embolomeren ihre Lagunen und Tümpel verließen und in Bergbäche umzogen, wo die schäumenden Gewässer besondere Schutzeinrichtungen erforderten, wenn die Jungtiere nicht vernichtet werden sollten: die Befruchtung des Eies im Körper des Weibchens, um einen Verlust des männlichen Samens zu verhindern, und eine luxuriöse, feste Schutzhülle für die Eier, damit sie in den reißenden Gewässern überleben konnten, die das gewöhnliche, von einer Gallerthülle umgebene Ei zerstört hätten.

Mit dieser neuartigen „Erfindung", dem Ei, machte die Evolution einen großen Sprung nach vorn. Der Unterschied zwischen dem, was vorher gewesen war, und dem, was dann kam, ist so groß, daß die Wissenschaftler allen Reptilien, Vögeln und Säugetieren den Namen *Amnioten* („Tiere mit Amnion") gaben. Die Fische und Lurche dagegen wurden *Anamnioten* genannt („Tiere ohne Amnion"). Dies war dann der entscheidende Beitrag zur Wandlung der Wirbeltiere, die sich ihrem neuen Lebensraum, dem trockenen Land, vollkommen anpaßten. Diesen Neulingen stand die ganze Erde offen.



Die große Vergletscherung am Ende des Karbons

Das Eis dringt in die südlichen Gebiete der Erde vor

Am Ende des Pennsylvanians vor 280 Millionen Jahren befand sich die Erde in einer Phase grundlegender Umwandlungen. Es bildeten sich große Gebirgssysteme, und dieses Phänomen wiederholte sich in weiten Teilen der immer noch nicht zur Ruhe gekommenen Erdkruste. Riesig ausgedehnte Lagen von Eis von außerordentlicher Dicke hatten sich über den Südregionen gebildet und folgenreiche Klimaveränderungen mit sich gebracht. Um diese Zeit begann das *Perm*. Es dauerte 55 Millionen Jahre und sollte den ganzen Planeten bedeutend verändern.

Im voraufgehenden Band dieser Serie war schon einmal von Polareiskappen die Rede. Wir erwähnten damals, daß sie sich im fern zurückliegenden Ordovizium über Afrika ausbreiteten, wo heute gelber Sand in glühendheißen Wüsten vom Wind umhergewirbelt wird. Dies alles war längst Vergangenheit geworden; jetzt bildeten sich abermals die Ursachen zu einer solchen Entwicklung.

Es ist erwiesen, daß gegen Ende des Karbons und zu Beginn des Perms unendliche Eiswüsten, viele von ihnen mehrere Kilometer dick, das Kap der Guten Hoffnung bedeckten. Diese Eismassen kamen aus Transvaal über eine Distanz von mehr als 1 000 km. Die ebenen Felsen, die durch langandauernde Schleifprozesse geglätteten Kiesel vom Grund gefrorener Bassins und der gehärtete Schlamm in dieser Gegend bezeugen dies gleichermaßen. Bemerkenswert scheint außerdem, daß die Eisströme nicht (wie es heute auf der südlichen Halbkugel normal wäre) von Süden nach Norden, sondern von Norden nach Süden flossen.

Belege für diese Verschiebungen finden sich nicht nur in Südafrika, sondern über enorme Entfernungen hinweg auch in anderen Gegenden. In Südostaustralien zum Beispiel finden sich mächtige Hügel aus dickem Schlamm, aufgetürmt durch die Eiskappen, die teilweise bis zu 600 m dick sind. Dieser Schlamm wurde später zu extrem hartem Felsgestein. Man kann ihn in fünf Lagen unterteilen. Dies zeigt, daß die Polareiskappen insgesamt fünfmal in den heutigen australischen Kontinent einbrachen, bevor sie sich wieder zurückzogen.

Gletscherschlamm und geglättetes Felsgestein aus dem oberen Karbon und dem unteren Perm sind auch auf dem indischen Subkonti-

Panorama der Great Heilman Mountains in Pennsylvanien. Diese Berge sind sehr niedrig und durch Erosion abgerundet. Sie sind Teil des großen Appalachen-Systems, das vom Golf von Mexiko bis zum St.-Lorenz-Golf reicht und nach manchem Auf und Ab im weit zurückliegenden Paläozoikum im Karbon einen großen Aufschwung erlebte.

Die Gebiete, die im unteren Perm mit Eis und Schnee bedeckt waren. Die gestrichelten Linien heben die Gletschergebiete hervor, deren (bis jetzt bekannte) Ausdehnung weiß eingezeichnet ist. Die Pfeile zeigen an, in welcher Richtung sich das Eis bewegt hat.

nent weit verbreitet. Sie finden sich ferner hier und da in Zentralfrika und in verschiedenen Teilen der Antarktis. Mit Hilfe einer Reihe von kürzlich unternommenen Expeditionen konnten Wissenschaftler die Spuren der großen Vergletscherung bis ins Innere dieses einsamen Kontinents verfolgen und nachweisen, nämlich bis in die *Horlickkette* und die *Königin-Alexandra-Kette.* Sogar heute noch stürzen die gewaltigsten Lawinen der Erde von diesen abgelegenen Bergen herab, die zwischen 3 000 und 4 000 m hoch sind, obwohl natürlich dieses Eis nichts mit den Eiskappen des Perms zu tun hat, sondern sich in relativ junger Vergangenheit, innerhalb der letzten Millionen Jahre, bildete.

Das riesige Gondwanaland

Stellen wir uns vor, die Hinweise auf Gletscher aus dem Karbon und dem Perm wären in eine übliche kartographische Darstellung eingezeichnet: Ihre Verteilung wäre völlig unverständlich. Jetzt aber setzen wir für die uns heute bekannten geographischen Einheiten den alten Kontinent *Pangäa* ein: Plötzlich paßt alles zusammen. Kein Zweifel, gegen Ende des Pennsylvanians bedeckte eine ungeheure *Antarktis* den südlichen Teil von Pangäa. Sie erstreckte sich über jenen Landblock, aus dem später Südamerika, Südafrika, der Subkontinent Indien, Australien und die ganze gegenwärtige Antarktis hervorgingen. Wir wissen nicht viel über diese erstaunliche Polareiskappe, wir wissen nicht einmal, in welche Arme oder Teile sie zu untergliedern wäre; aber wir wissen, daß

Ein versteinertes Blatt von Glossopteris in einem südafrikanischen Felsen aus dem Perm. Fossile Reste dieser Pflanzen wurden in allen Teilen Gondwanalands gefunden.

sie Ausnahmecharakter hatte, ein wahrhaft ungewöhnliches Gebilde war, vielleicht sogar einzigartig in der langen Geschichte der Erde.

Natürlich hatte diese Eiskappe zunächst einmal unmittelbare Folgen für das Leben. Es gab aber auch Auswirkungen, die erst Millionen und Abermillionen Jahre später Folgen hatten. Vor ihrem Einbruch gab es in mehreren südlichen Teilen von Pangäa Wälder aus Lepidodendren und Sigillarien, Wälder, in denen träge Amphibien umherkrochen. All dies wurde hinweggefegt und kehrte niemals wieder. Als sich die Eiskappen zum ersten Mal zurückzogen und die heiße Sonne Seen und Sümpfe aus einer langen Lethargie erweckte, kehrten die Pflanzen zurück. Aber ihre Form war gröber und primitiver, entsprechend dem rauheren Klima. Und als das Klima wieder kälter wurde und die Eiskappen zurückkehrten, blieb die neue Flora in denjenigen Regionen, die das Eis nicht erreichte, und wurde typisch für alle südlichen Länder.

Dies geschah gegen Ende des Karbons. Es gab dem, was später *Gondwanaland* genannt wurde, dem südlichen Teil von Pangäa, einen besonderen Charakter. Der Name „Gondwanaland" ergab sich daraus, daß die ersten Belege dieser Entwicklung im Bereich von Gondwana, tief im Herzen Indiens, gefunden wurden. Während in den Tropen des Nordens eine überreiche Flora in heißen Sümpfen mit typischen Lepidodendren und Sigillarien üppig wucherte, mußten in Gondwanaland die Pflanzen die eisigen Winde aushalten, die von der Eiskappe her über einen öden Kontinent bliesen. Oft wuchsen diese Pflanzen an den

Gondwanaland (der südliche Teil von Pangäa), wie es am Anfang des Perms ausgesehen haben muß. Berge und Gletscher bilden den Hintergrund für einige der typischen Pflanzen in Gondwanaland: Kordaiten und Glossopterisarten.

DI GIANCIO

Rechte Seite: Monument Valley, Arizona. Die Türme, Gipfel und Säulen dieses berühmten Tals bestehen aus rotem Sandstein, der im Perm abgelagert wurde. Das Land, das sich später anhob, behielt die horizontale Anordnung dieser Sandsteinschichten, wie im Falle des Grand Canyon. Eine sehr lange Erosionsperiode hat den Sandstein teilweise zerstört, aber die bizarr geformten Felsen als Andenken hinterlassen.

Ufern eisiger Seen, die sich dort bildeten, wo die Eiskappen endeten und schließlich schmolzen.

Dennoch befanden sich unter jenen robusten Pflanzen auch Farne (Pteropsida), Bärlappe (Lycopsida) und Schachtelhalme (Sphenopsida); außerdem gab es Kordaiten und Samenfarne (Pteridospermae) in großer Fülle; auch einige primitive Nadelbäume waren vorhanden. Unter den Samenfarnen gab es zwei wirklich typische Arten, *Glossopteris* und *Gangamopteris.* In Gondwanaland kann man ihre Blätter nahezu überall finden. Obwohl sie zum ersten Mal im letzten Jahrhundert in Indien aufgespürt wurden, fand man sie danach im Jahre 1962 im tiefen Inneren der heutigen Antarktis.

Bei der Untersuchung versteinerter Wälder aus Gondwanaland erfuhr man etwas über die rauhen klimatischen Bedingungen und periodischen Veränderungen. Wir dürfen annehmen, daß Gondwanaland zuletzt ein Klima hatte, das mild oder gemäßigt-kalt war (wenigstens in einigen Bereichen), so daß die Pflanzen zu extremen Anpassungsleistungen gezwungen waren. Was damals in Gondwanaland geschah, kann man mit dem vergleichen, was sich heute in einigen Teilen Neuseelands abspielt: Farne, die so groß waren wie Bäume, wuchsen üppig in der Nachbarschaft ungeheurer Eismassen.

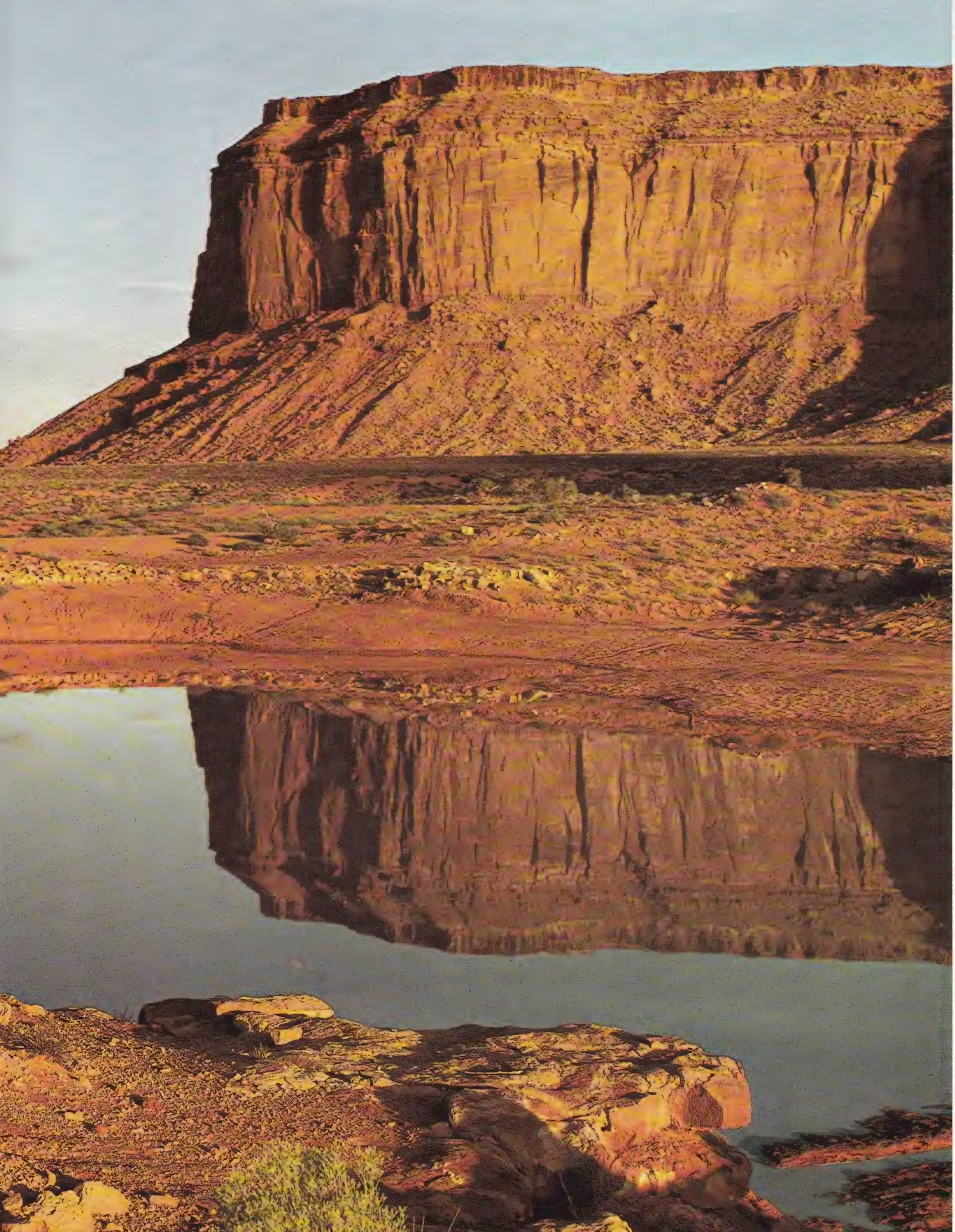
Die roten Permlagen und die Mutationen im Pflanzenreich

Die Polareiskappen drangen nicht in den Norden von Pangäa vor. Das Land erhob sich zunehmend über den Meeresspiegel, und das Klima veränderte sich auf dem ganzen Planeten. Dies brachte Veränderungen anderer Art mit sich. Zu Beginn des Perms erstreckten sich große Wüsten über den nordatlantischen Kontinent, so daß ausgedehnte Bereiche in Nordamerika und Europa austrockneten. Zur selben Zeit wirkte die Erosion gewaltsam und gewaltig auf die soeben aufgestiegenen, aufragenden Gebirgsketten ein. Immer wieder strömten sturzbachartige Regenfälle, mächtigen Flüssen oder Wildbächen gleich, den Berghang hinab. Und immer wieder schleuderten diese Sturzbäche Kiesel und Geröll in die in der Ebene liegenden Wüsten, wo das Wasser vom glühenden Sand vollständig aufgesogen wurde.

Unten: Fossil von Lebachia (Walchia), einem Nadelbaum, der im unteren Perm häufig vorkam.

Versetzen wir uns zurück in die Zeit, nachdem sich die Berge im Silur gebildet hatten. Wir erinnern uns, daß sich damals Schichtungen, die zu einem großen Teil aus Sand zusammengesetzt waren, über den Wüsten und Steppen des nordatlantischen Kontinents abzulagern begannen. Diese Ablagerungen verwandelten sich dann in den alten roten Sandstein.

Genau dies wiederholte sich im Perm. Es gab einen entsprechenden Zyklus der Gebirgserosion. Dies schuf völlig gleiche Ablagerungen, die an vielen Stellen „Neuer Roter Sandstein" (New Red Sandstone) genannt werden. Solche Ablagerungen finden sich in besonders eindrucksvoller Form in den südwestlichen Staaten der USA. Sie bilden dort die berühmten Red Beds von Texas. Sie kehren wieder in den hochaufgetürmten Wänden des unvergleichlichen *Grand Canyon,* wo sie als die *Coconino-Formation* bekannt sind, ferner auch im *Monument Valley* auf der Grenze zwischen Arizona und Utah, wo eine geologisch jüngere Erosion sie in wundervolle Formen geschliffen hat. In diesem Tal sind ausgedehnte isolierte Teile der alten gleichförmigen Ablagerungen von senkrechten Wänden umgeben. Zwischen den gewaltigen Steinblöcken, die Festungen ähneln, haben kleinere Bruchstücke die Form von Türmen, Säulen und Turmspitzen angenommen.



Unten: Blattfossil einer Saportea, eines permischen Ginkgobaums. Dieses Blatt hat eine starke Ähnlichkeit mit den Blättern des heutigen Ginkgo biloba.

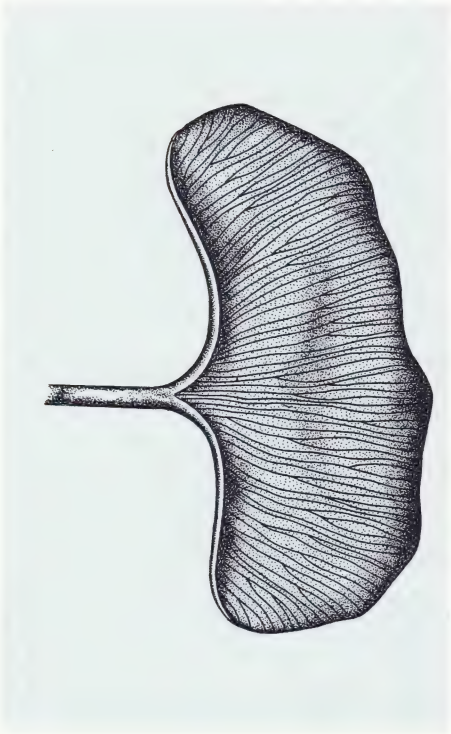
Während des Perms nahm die Dürre zu. Ganze Meeresarme wurden ausgetrocknet. Sie hinterließen oft massive Ablagerungen von Salz und Kalk. Dies alles konnte nur eines bedeuten: den Verfall der Wälder des Karbons, die wir weiter oben in ihrer Blütezeit beschrieben haben.

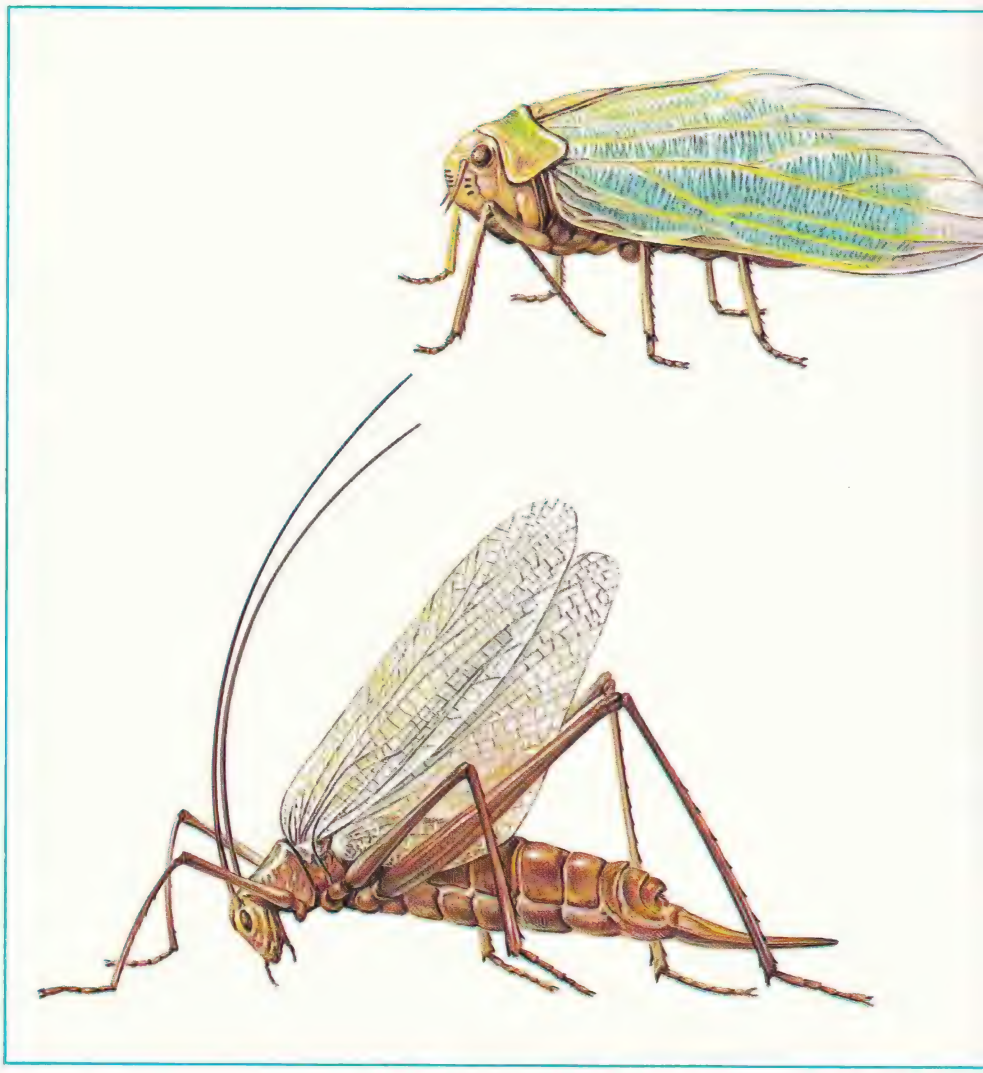
Dieser Augenblick kam unvermeidlich heran. Zu Beginn des Perms gab es noch die Sumpfwälder. Nach und nach jedoch traten an ihre Stelle solche, die für ein trockeneres Terrain typisch sind: mit einer Fülle urtümlicher Nadelbäume, die bis hoch in die gebirgigen und halbtrockenen Gegenden hinauf wuchsen.

Genau wie in Gondwanaland gab es im Pflanzenreich des nordatlantischen Kontinents tiefgreifende Veränderungen, allerdings Veränderungen von anderer Art. Wie in Gondwanaland gediehen auch weiterhin die aus dem Karbon vertrauten typischen Farnpflanzen (Pteridophyten) im Norden, aber die schönsten von ihnen starben aus.

Die hochgewachsenen Säulen der Lepidodendren und die monolithischen Sigillarien gab es zuletzt in der ersten Hälfte des Perms. Da diese Pflanzen die pennsylvanischen Wälder charakterisiert hatten, veränderte sich das Bild der Pflanzenwelt grundlegend. Dieser Vorgang

Rechts: Insekten im Perm. Von links nach rechts: Permocicada integra (die unserer Grille ähnelt) und Metoedischia (ein Grashüpfer), beide aus Rußland; danach Eugereon boeckingi (zur selben Ordnung gehörend wie die heutige Grille) und Protoreisma permianum (eine Eintagsfliege).



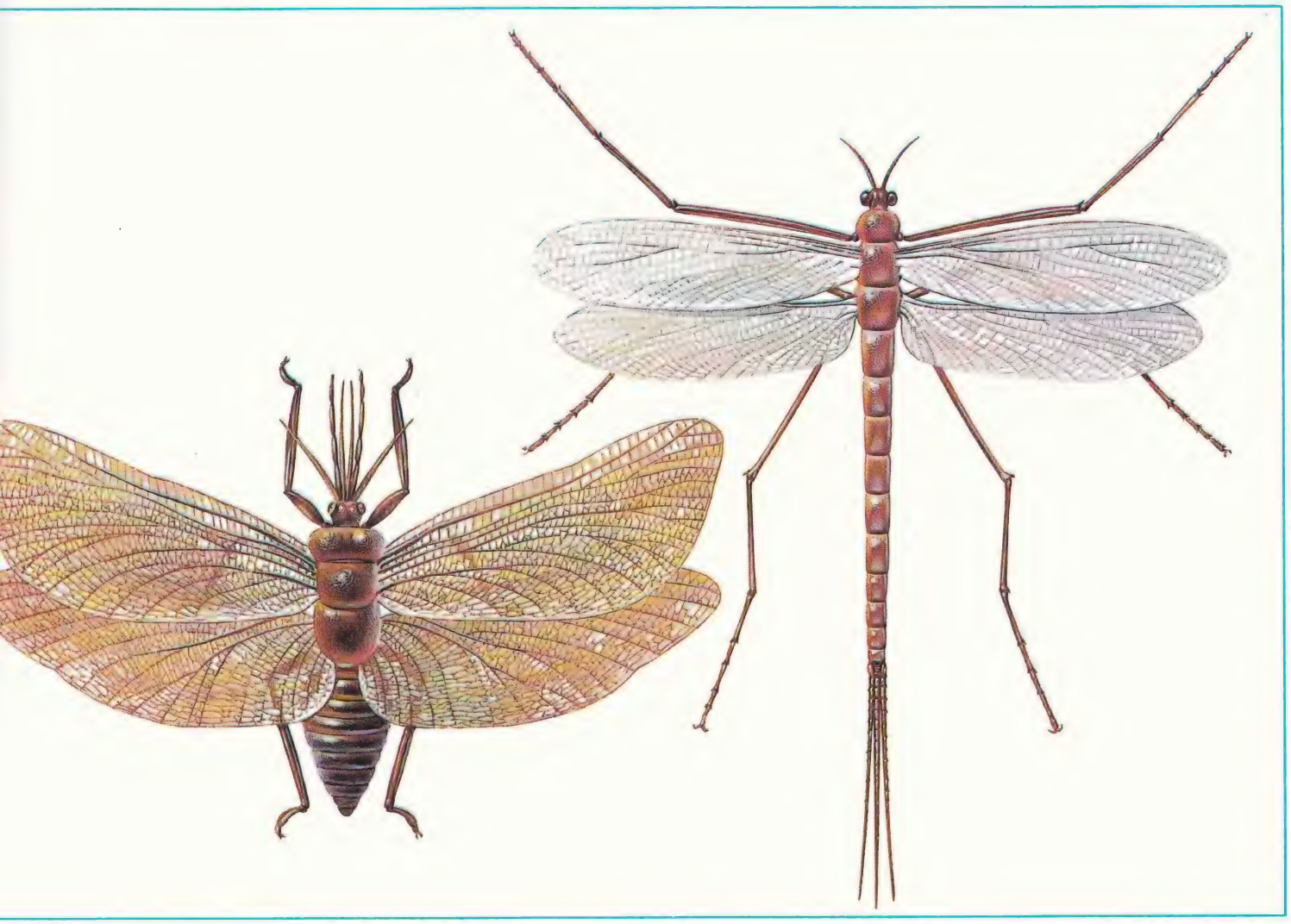


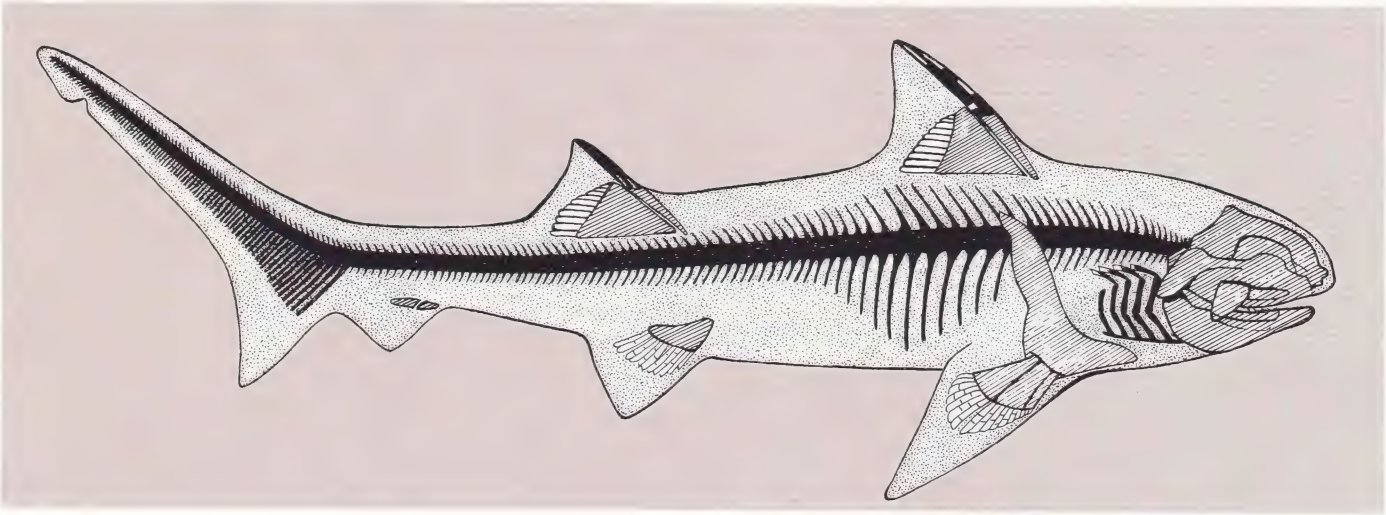
wurde durch das kurz darauf folgende Aussterben der Samenfarne (Pteridospermen) unterstrichen.

Danach setzte die Zeit der *Nadelbäume* ein. In der ersten Hälfte des Perms erschienen die *Lebachien.* Als diese Pflanzen verschwanden, traten die *Voltzien* an ihre Stelle, hochgewachsene Bäume, die unseren heutigen Araukarien ähnlich sahen. Zusammen mit den Nadelbäumen gab es auch die *Ginkgogewächse,* von denen die Art *Ginkgobaum,* ein wirkliches „lebendes Fossil", noch heute wächst und gedeiht. Der Ginkgobaum ist ein wunderschöner Baum, der ungefähr 20 bis 25 m hoch wird. Obwohl er in verschiedenen Gegenden angebaut wird, findet er sich natürlicherweise wildwachsend nur in bestimmten Teilen Chinas.

Wirbellose und Fische im Perm

Vor vielen Jahren lag auf einer Wiese im Abilene (Kansas) eine dünne Tafel aus Kalkstein, ein Überbleibsel aus den größeren Ablagerungen des unteren Perms. Die Tafel ließ sich öffnen wie die Seiten eines Buches. Sie offenbarte zahlreiche versteinerte Insekten, die seit langem von der Erde verschwunden waren, zusammen mit anderen, die es noch heute gibt wie Maikäfer und Libellen. Sie alle waren filigranartig in den



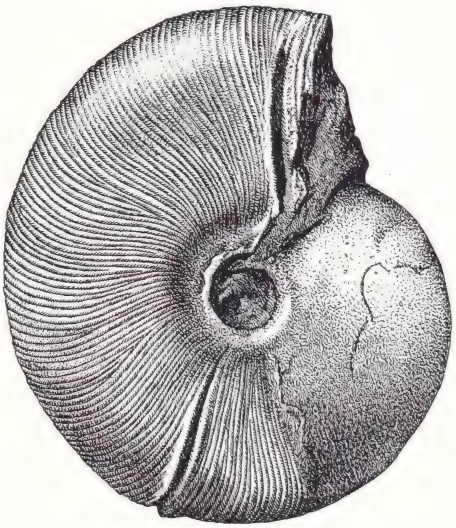


Oben: Schematische Darstellung von Hybodus, einem Hai, der in den Meeren des Perms weit verbreitet war.

Stein eingeprägt. Aus dieser einen kleinen Kalksteintafel konnte man über 10 000 vollkommen erhaltene Exemplare isolieren! Bei einigen schien sich die Farbe der Flügel in ein braunes Pigment verwandelt zu haben, wodurch man das Farbmuster des lebenden Insekts rekonstruieren konnte.

Natürlich war die Steintafel von Abilene ein Ausnahmefund. Aber auch in anderen Teilen der Welt wie in Rußland wurden Mengen von Insekten aus dem Perm gefunden, wenn auch nicht in solcher Fülle. Wir wissen daher sehr viel über die Insektenwelt des Perms. Diese Kenntnisse bestätigen unsere Annahmen über die Veränderungen, die in dieser Zeit stattgefunden haben: Anfangs gab es noch die Urflügler (Palaeodictyoptera) und einige riesige Vertreter von Meganeura, die über die großen Sümpfe flogen. Später verschwand diese fliegende Urbevölkerung. Eine große Zahl von Insekten (Hexapoden), die unseren heutigen sehr ähnlich sehen, trat an ihre Stelle. Allerdings gab es damals noch keine Schmetterlinge (Lepidoptera), Zweiflügler (Diptera; z. B. Fliegen) oder Hautflügler (Hymenoptera; z. B. Bienen).

Unten: Waagenoceras, ein Ammonit aus dem Perm. In diesem Zeitalter wurden auch die Ammoniten von der permischen Krise betroffen, und viele ihrer Arten verschwanden; einige aber überlebten und nahmen in späteren Perioden ihren alten Platz in der Meereshierarchie wieder ein.



Die ökologische Krise des Perms wirkte sich im Meer nicht so unmittelbar aus wie auf dem festen Land, obgleich die Fernwirkungen nicht weniger bedeutsam waren. Eine der spektakulärsten Folgen war das Verschwinden sehr vieler *Ammonitenarten* gegen Ende des Perms. Diese schalenbedeckten Kopffüßer (Zephalopoden) waren danach fast ausgestorben. Dennoch entwickelten sich sehr viel später aus den wenigen, die übrigblieben, einige extrem lebenstüchtige Seitenäste, welche Ammoniten aller Art in unendlicher Vielzahl über die Erde verbreiteten. So hatte die permische Krise die Wirkung eines Stimulans zur nachhaltigen Wiederauferstehung dieser Weichtiere.

Ganz anders lagen die Dinge bei den *Trilobiten (Dreilappkrebse).* Millionen Jahre lang hatten diese Lebewesen das Wasser bevölkert. Sie hatten sich an eine unendliche Zahl von neuen Umgebungen angepaßt, Krisen aller Art und das Auftauchen einer immer größeren Zahl von Raubtieren auf der Bühne des Lebens überlebt. Aber die permische Krise standen sie nicht durch. Vielleicht war aber auch ihre Klasse, die gegen Ende des Karbons schon auf einige wenige Arten reduziert war, in dieser Zeit einfach biologisch erschöpft.

Eine Gruppe von Diplocaulus in einem der seltenen Augenblicke, in dem sie sich aufs trockene Land begaben. Gewöhnlich lebten sie auf dem Grund der Sümpfe und Lagunen. Diese Amphibien waren 60 cm lang und bewohnten im unteren Perm Nordamerika.

Auch die *Fische* bekamen die Krise zu spüren und wurden dezimiert, obwohl die Auswirkungen der Lage im Meer nicht so vernichtend waren. Viele alte Formen von *Knorpelfischen* (Chondrichthyes) gingen zugrunde, aber ihre Evolution zu beweglichen Raubfischen, die im Devon mit Cladoselache begonnen hatte, brach gleichwohl nicht ab. Der *Hybodus,* ein echter Hai, der schon die Gestalt unseres zeitgenössischen Hais hatte, erschien auf der Bildfläche. Auch gab es eine bedeutende Evolution bei den *Knochenfischen* (Osteichthyes), die sich anschickten, fortgeschrittenere Gruppen ihrer Klasse hervorzubringen.

Auf den ausgetrockneten Kontinenten erlitten die *Lungenfische* (Dipnoi) durch den großen Klimaumsturz einen Rückschlag, von dem sie sich niemals erholten. Sie wurden auf eine Stufe zurückgeworfen, die ihrer heutigen ähnelt. Auch die mit ihnen verwandten Quastenflosser (Krossopterygier) starben fast aus, insbesondere die Rhipidistier sahen ihrem Ende entgegen. Dennoch können wir sagen, daß ihnen allen eine angemessene Rolle auf der Bühne des Lebens zugeteilt war; denn zu dieser Zeit bereiteten sich die Tetrapoden, die aus ihrer Mitte hervorgegangen waren, darauf vor, die Herrschaft über die Erde anzutreten.

Die Reptilien breiten sich aus

Riesenamphibien im unteren Perm

Am Anfang des Perms befanden sich die Amphibien auf dem Höhepunkt ihrer Entwicklung, aber gegen Ende dieser Periode erinnerte fast nichts mehr an ihre so starke Präsenz außer ihren Fossilien, die im Sandstein begraben lagen. Natürlich gab es auch nach dem Perm noch einige große Amphibien; es waren sogar einige der größten aller Zeiten, aber ihre Herrschaft war begrenzt und außerdem ausschließlich auf das Wasser beschränkt.

Zwei Gründe waren für den Untergang dieser Tiere ausschlaggebend: Einerseits änderte sich in drastischer Weise das Klima; es wurde kalt und trocken, was für Amphibien ganz und gar ungeeignet war. Andererseits erlebten die Reptilien eine geradezu explosive Entwicklung. Trockengebiete, Sumpfufer, selbst die Sümpfe wurden zu Schlachtfeldern für die beiden rivalisierenden Gruppen. Die Reptilien erwiesen sich schließlich als die stärkeren.

Die ersten, die aufgaben, waren die *Lepospondyli.* Diese Gruppe war bereits vor dem Ende des Perms ausgestorben, ausgenommen jener kleine, unbekannte Zweig, aus dem sich die heutigen Wassermolche und Salamander entwickelt haben. Die kleinen Lepospondyli waren auf die Sümpfe des Karbons angewiesen und teilten deren Schicksal.

Das interessanteste Amphibium der damaligen Zeit war zweifellos der *Diplocaulus,* ein nordamerikanischer Vertreter der Nectridia, der schon im oberen Pennsylvanian anzutreffen war: 60 cm lang, mit einem recht seltsamen Kopf, auf dem zwei große, nach hinten geneigte Auswüchse seitlich herausragten, die ihm ein ziemlich groteskes Aussehen verliehen. Er war ein ganz und gar wasserbezogenes Tier, das vermutlich auf dem Grund von Sümpfen und Flüssen lebte, da auch seine Augen, wie es für viele Unterwasserbodenbewohner (z. B. Rochen) typisch ist, eng beieinander nahe der Kopfspitze lagen.

Den Labyrinthzähnern (Labyrinthodontia), die widerstandsfähiger waren als die Lepospondyli, ging es noch einigermaßen gut, obwohl auch sie dem Aussterben geweiht waren. Im unteren Perm gab es überall große rhachitome Lebewesen, die sich auf der Suche nach besseren Lebensbedingungen auf ihren kurzen, gedrungenen Gliedmaßen soweit

Der Eryops in seiner natürlichen Umgebung. Der Eryops war höchstwahrscheinlich ein gefräßiges Raubtier. Er konnte sich auf dem Festland leicht fortbewegen und erreichte eine Länge von über 1,5 m.

Oben: Das Skelett eines Eryops, des großen Amphibiums aus dem Perm. Zahlreiche Fossilienreste dieses Tiers wurden in den Red Beds von Texas gefunden.

wie möglich von ihren Sümpfen entfernten; zur Fortpflanzung allerdings kehrten sie immer ins Wasser zurück.

Zahlreiche Fossilien von dem größten der *Rhachitomi* im unteren Perm, dem mächtigen *Eryops,* wurden in den Red Beds von Texas gefunden. Etwa 1,50–2 m groß, mit mächtigem, gewölbtem Rücken, einem riesigen, platten Schädel und einem Kiefer, der mit zahlreichen scharfen Zähnen versehen war, vermittelt das Skelett dieses Lebewesens einen Eindruck von unbändiger Kraft. Ohne Zweifel war der Eryops ein zu fürchtendes Raubtier. Wie der heutige Alligator hielt er sich wahrscheinlich häufig im Flachwasser der Sümpfe auf, in denen Fische und kleine Amphibien reichlich vorhanden waren. Es ist jedoch gut möglich, daß er auch manchmal den unmittelbaren Gewässerbereich verließ und in die halbtrockenen Gebiete eindrang, wo viele kleine Reptilien leichte Beute versprachen.

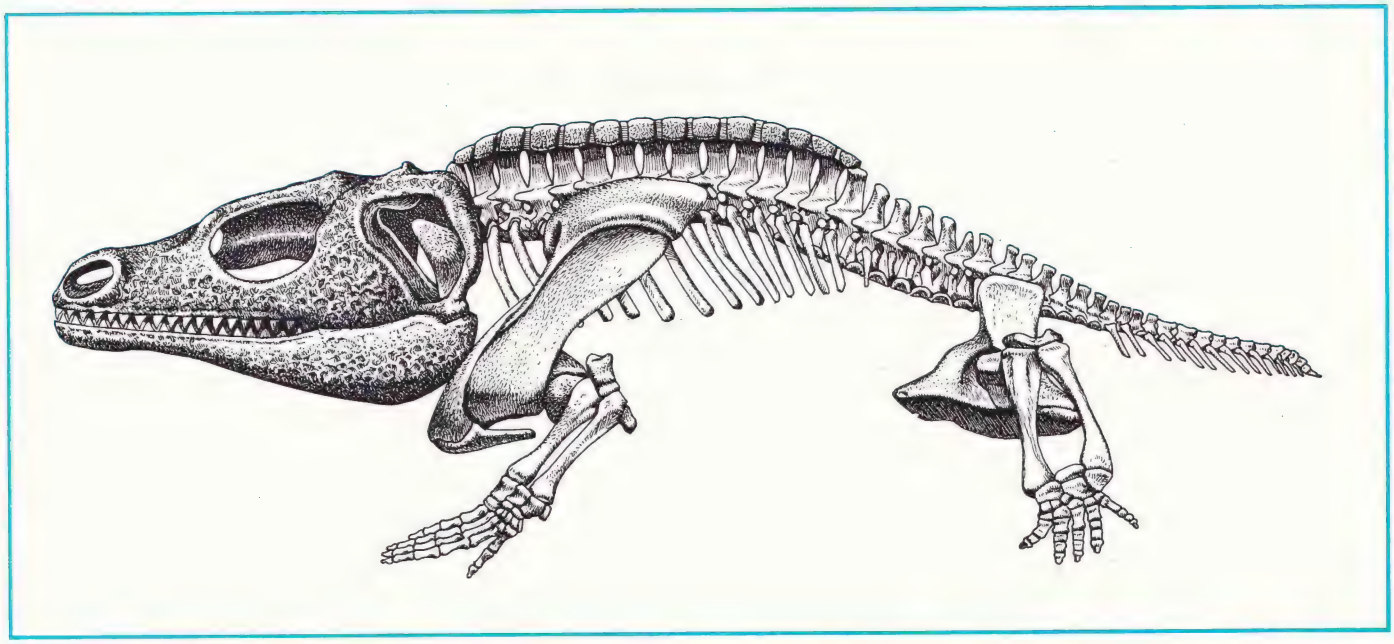
Rechte Seite, oben: Das Skelett von Cacops, einem anderen Amphibium, das im unteren Perm in Nordamerika lebte.

Kleine Rhachitomi und einige problematische Seymouriamorpha

Außer dem Eryops lebte auch der kleine *Cacops* in den Lagunen und Sümpfen des unteren Perms. Er war 20 cm lang und hatte einen vergleichsweise großen Kopf. Sein Rücken war durch knochenartige Schuppen geschützt. Von allen Amphibienarten, die jemals existierten, war diese Art zweifellos für ein Leben auf dem trockenen Festland am besten geeignet. Gepanzert wie ein Krieger im Mittelalter und mit kräftigen Zähnen ausgerüstet, war Cacops fast ein Monster dank der ungeheuerlichen Kraft, die sich in diesem kleinen Lebewesen konzentriert hatte. Wahrscheinlich war er ein unersättliches Raubtier, das Insekten und amphibische Larven, aber auch kleine Reptilien jagte.

Rhachitomi dieser Art, große wie kleine, bevölkerten damals Nordamerika, Europa und Rußland und drangen sogar bis weit in den Süden Afrikas vor. Da der große Einzelkontinent Pangäa mit den anderen Erdteilen verbunden war, konnten diese Lebewesen verhältnismäßig leicht von einem Ort zum anderen übersiedeln. Auf diese Weise konnten sich die *Seymouriamorpha,* die halb Amphibien und halb Reptilien

Rechte Seite, unten: Ein schönes Exemplar der Seymouria baylorensis aus den Permschichtungen in Texas. Dieses Skelett ist vollständig erhalten.

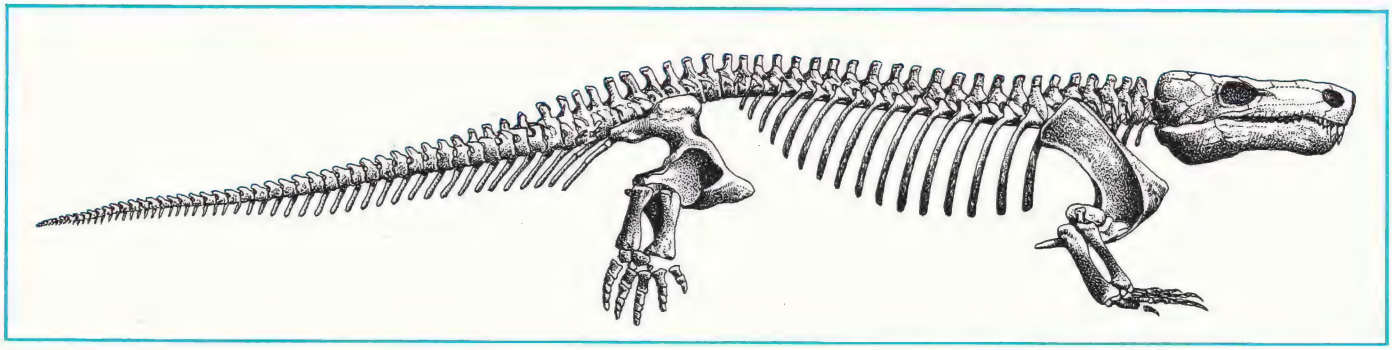


waren, ungestört ausbreiten. Den Gründer ihrer Gattung, den *Diplovertebron,* gab es noch im unteren Perm.

Das Tier, nach dem die ganze Gruppe benannt ist, die *Seymouria,* wurde in den texanischen Red Beds entdeckt, jener Fundgrube für seltsame und monströse ausgestorbene Tiere. Sie war 60 cm lang und hatte einen typischen Amphibienkopf, während ihr Skelett dem eines Reptils glich. Es ist daher schwer zu sagen, zu welcher der beiden Klassen sie nun eigentlich gehörte. Wir wissen nicht einmal, ob sie Eier mit fester Schale auf dem Land ablegte oder ob sich die Jungtiere im Wasser entwickelten. Hätten wir einige Exemplare dieses Lebewesens in Schichtungen aus dem unteren Karbon gefunden, würden wir es wahrscheinlich für das fehlende Bindeglied zwischen Amphibien und Reptilien halten. Wir müssen also davon ausgehen, daß die Seymouriamorpha eine selbständige Gruppe bildeten, die im Laufe der Evolution ausstarb. Ihre Fossilienreste helfen uns jedoch zu verstehen, wie sich der Übergang vom Amphibium zum Reptil im Karbon vollzogen hat.

Die explosive Evolution der Reptilien und Kotylosaurier

Im Pennsylvanian hatten die Reptilien die Amphibien entwicklungsmäßig noch nicht überflügelt, aber im Perm nahmen sie deren Stelle als führende Wirbeltiere auf dem Festland ein. Ihre Entwicklung glich fast einer Explosion. Es entstanden Formen und Arten, die erst viel später im



Zeitalter der Dinosaurier übertroffen wurden. Eine solche Explosion stimmt völlig mit der Logik der Natur überein. Da sich bei den Reptilien das unschätzbare Amniotenei entwickelt hatte, waren sie nicht mehr an den begrenzten Horizont der Amphibien, der kaum über die Sumpfufer hinausreichte, gebunden und konnten sich in jeglicher Umgebung ausbreiten und durchsetzen. Sie lebten in den trocknen Nadelbaumwäldern und in den ödesten Steppen, sie drangen sogar bis in die Wüsten vor; manche von ihnen kehrten wieder zu den Seen und Tümpeln zurück oder ließen sich auch in den Flüssen nieder. Die daraus resultierenden Veränderungen in Form und Verhaltensweise gaben sie an ihre Nachkommen weiter, so daß sich ihre Arten immer mehr differenzierten.

Natürlich wurden auch die Reptilien von der Abkühlung der Erde während des Perms betroffen. Unzählige von ihnen wurden dadurch vernichtet. Aber ebenso rapid entwickelten sich neue Arten, die die ausgestorbenen ersetzten. Als besonders fruchtbar erwies sich in diesem Sinne die Ordnung der *Kotylosaurier,* die schon im Karbon eine Blütezeit erreicht hatte. Viele Kotylosaurierarten verbreiteten sich in relativ kurzer Zeit über die ganze Erde (manche schon im Pennsylvanian). Auf diese Reptilienarten gehen schließlich alle Reptilien zurück, die noch existierenden und die bereits ausgestorbenen.

In den Red Beds von Texas wurden Skelette primitiver Lebewesen von noch ziemlich schwerfälligem Körperbau freigelegt, die einerseits

Linke Seite, oben: Rekonstruktion des Skeletts eines Limnoscelis, eines räuberischen Reptils im unteren Perm von Texas.

Linke Seite, unten: Das Skelett von Diadectes, einem pflanzenfressenden Reptil aus derselben Ordnung wie Limnoscelis (Ordnung Kotylosaurier), gefunden in den Permschichten von Texas. Dieses Tier war über 2 m lang.

Unten: Der Varanus griseus, ein rezentes schuppiges Reptil, das in Asien und Afrika lebt, ziemlich gefräßig ist und sich vom Aas kleiner Wirbeltiere ernährt.

Das Skelett eines Pareiasaurus aus den Permschichtungen der Karru in Südafrika. Der Pareiasaurus war ein riesenhaftes Tier von 3 m Länge.

Reptilien waren, andererseits aber bereits Übergangsformen zwischen Fleischfressern und Pflanzenfressern zeigten. Dies ist insofern sehr interessant, als die Tetrapoden, wie wir uns erinnern werden, am Anfang eigentlich Raubtiere gewesen waren. Es könnte also einige Kotylosaurier in den Sümpfen gegeben haben, die sich von Süßwassermollusken und Wasserpflanzen ernährten und später dann im Laufe ihrer Entwicklung die Mollusken verschmähten und zu reinen Pflanzenfressern wurden. Als dieses Stadium erreicht war, gab es zum ersten Mal eine Nahrungskette auf dem Land, die es im Wasser schon seit Jahrmillionen gegeben hatte: die Kette „Produzenten–Pflanzenfresser–Fleischfresser (Raubtiere)", eine Kette, die auch viele unserer heutigen Tiere mit einbezieht.

Ein typisches Kotylosaurierraubtier war der *Limnoscelis,* der im unteren Perm im Gebiet des heutigen Texas und Neumexiko lebte. Er war 1,50 m lang, von einigermaßen schlanker Gestalt und hatte einen hoch aufgereckten, langgestreckten Kopf mit seitlich liegenden Augen. Demgegenüber war der *Diadectes,* der ebenfalls in diesen Schichtungen gefunden wurde, ein typischer Pflanzenfresser. Er war mehr als 2 m lang und hatte einen kleineren, rundlichen Kopf. Alles in allem glichen diese Lebewesen großen, gedrungenen Echsen.

Fossile Reptilien aus der Karruformation

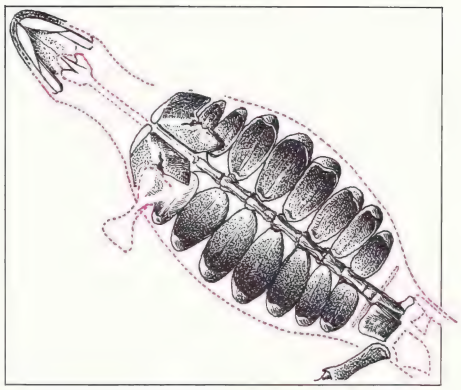
Tief im Süden Afrikas, in der Halbwüstenlandschaft der Großen und Kleinen Karru wurden verschiedene ungewöhnliche Ablagerungen entdeckt, die sich als sehr „ertragreich" für die Erforschung der primitiven Reptilien erwiesen haben. Man bezeichnet diese Ablagerungen als *Karruformation.* Zuunterst bestehen sie aus Kieselsteinschichten, die von den Eiskappen aus dem Transvaal im unteren Perm zurückgelassen wurden. Darüber finden sich Lehm, der sich in zeitweiligen Seen abgelagert hatte, und Sandstein, der in der Zeit der großen Überschwemmungen durch das Zufließen und Aufhäufen von Sand entstanden war. Aus dieser Formation, die auch Schichtungen beinhal-

tet, die nach dem Perm abgelagert wurden, werden in jedem Jahr dank der Erosionswirkung des Flusses die Fossilienreste einiger Hunderte von uralten Reptilien freigelegt.

Die wüstenähnlichen Zustände, die im mittleren und oberen Perm dort bestanden, waren den heutigen ziemlich ähnlich: sandige Steppen mit äußerst spärlicher Vegetation, hier und da durch Seen von wechselnder Ausdehnung unterbrochen: eine rauhe, kahle Umwelt, vom Wind gepeitscht und an vielen Stellen häufig von plötzlichen Überschwemmungen heimgesucht. Und dennoch, vermutlich gerade weil sie solchen Umweltbedingungen ausgesetzt waren, entwickelten sich die Reptilien erstaunlich schnell und bahnten den Weg für eine neue Evolutionsphase: den Übergang zu den Säugetieren.

Das erste Tier in der Geschichte der Karruformation war der riesige (ca. 3 m lange) *Pareiasaurus* aus dem mittleren und oberen Perm. Er war ein pflanzenfressendes Kotylosaurierreptil aus der Verwandtschaft des amerikanischen Diadectes. Sein Skelett zeigte eine unförmige Knochenstruktur; der Schädel war ungeschlacht. Der Rücken des Tiers war von knochigen Schuppen bedeckt. Es gab zur selben Zeit ähnliche Tiere auch in Rußland, eine Tatsache, die beweist, daß die Kotylosaurier in verschiedenen Gegenden von Pangäa zu finden waren.

Außer dem Pareiasaurus gab es in der Karru andere kleinere Kotylosaurier, die sich in unterschiedlichen Richtungen entwickelten. Ein solcher Evolutionszweig brachte den Urahn der Schildkröte hervor, den *Eunotosaurus,* ein Reptil mit abgeplattetem Rücken und einem Brustkorb, der so weiträumig war, daß sich die Rippen hinten am Rücken berührten und auf diese Weise einen primitiven Panzer bildeten. Später entwickelte sich aus diesen weit umfassenden Rippen der Schildkrötenpanzer, wie wir ihn heute kennen.



Teilrekonstruktion des Skeletts eines Eunotosaurus aus den südafrikanischen Permschichtungen. Man vermutet, daß diese Reptilien die Vorfahren der Schildkröten sind.

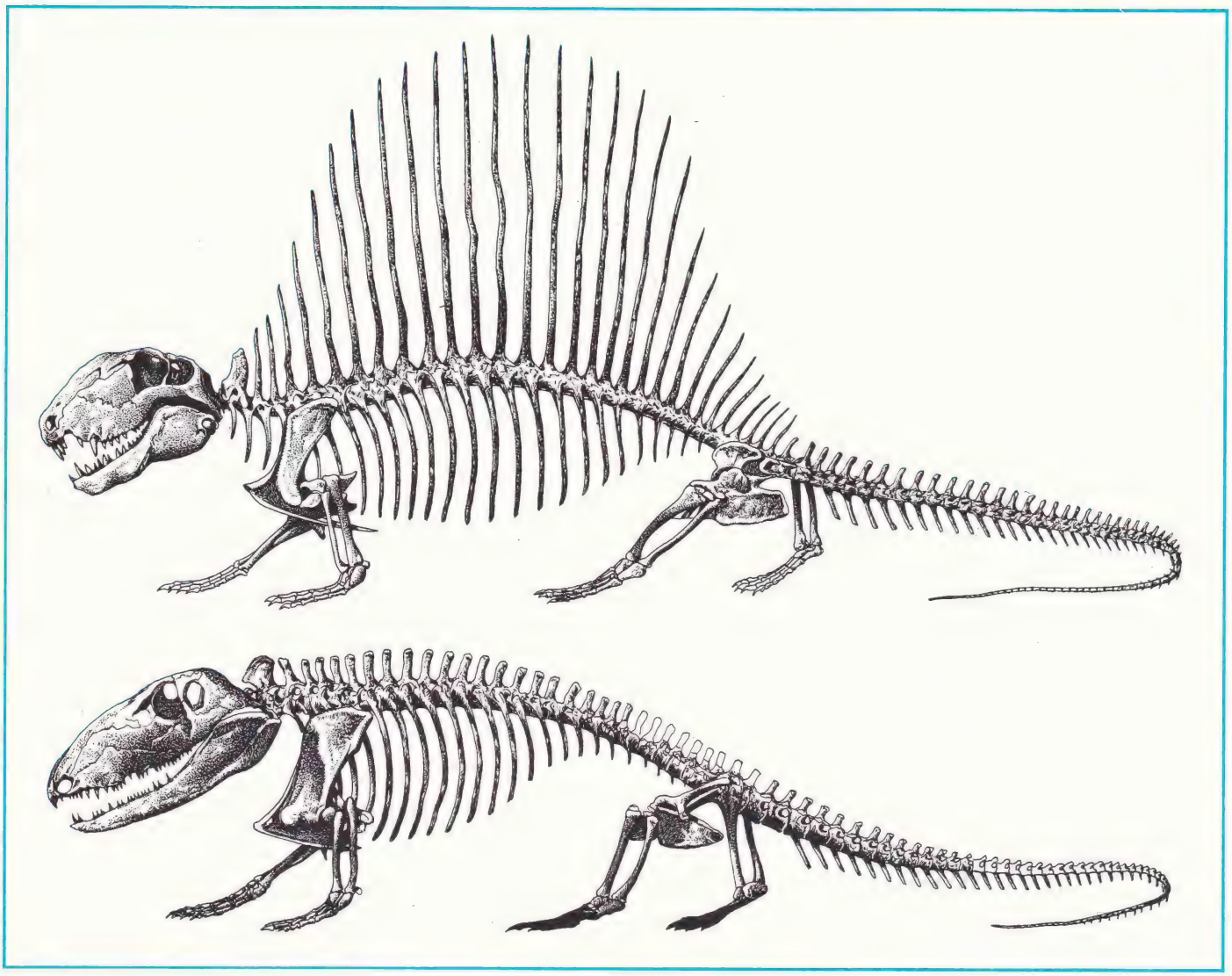
Die Pelykosaurier

Wenn wir die Geschichte der Karruformation weiterverfolgen wollen, müssen wir einen kleinen Umweg über Amerika machen, um die Vorfahren jener Reptilien kennenzulernen, die sich im Laufe der Zeit zu Säugetieren entwickelt haben. Wieder kommen wir zu den Red Beds.

Die Reptilien, von denen sich die Säugetiere herleiten, gehörten zur Ordnung der *Pelykosaurier,* die ihrerseits von den Kotylosauriern aus dem Karbon abstammen. Die Pelykosaurier waren im oberen Perm bereits ausgestorben. Einige versteinerte Prachtexemplare, die eher den feuerspeienden Drachen aus den Sagen des Mittelalters als wirklichen Tieren ähneln, wurden jedoch im Sandstein des amerikanischen Westens gefunden.

Die ersten Pelykosaurier waren große, fleischfressende Echsen. Der höchstentwickelte unter ihnen war der *Ophiacodon,* ungefähr 2,50 m lang, der an den Ufern von Sümpfen, Flüssen und Seen lebte und sich räuberisch von Fischen und Amphibien ernährte. Aus dieser Gruppe von Echsen entwickelten sich die unglaublichen Wesen, die oben erwähnt wurden und von denen der berüchtigste der *Dimetrodon* oder *Texasdrache* war. In Größe und Gestalt dem Ophiacodon ähnlich, besaß dieses Tier ein nur ihm eigenes charakteristisches Merkmal: Die langen Knochen seiner Rückenwirbel waren durch eine Membran verbunden, so daß ein hoher, zackiger Rückenkamm entstand.

Der Dimetrodon lebte im unteren Perm und war gewiß das größte Raubtier seiner Zeit. Bei seinen Zähnen war bereits eine Entwicklung in Richtung Säugetierzähne festzustellen: Die Vorderzähne waren länger



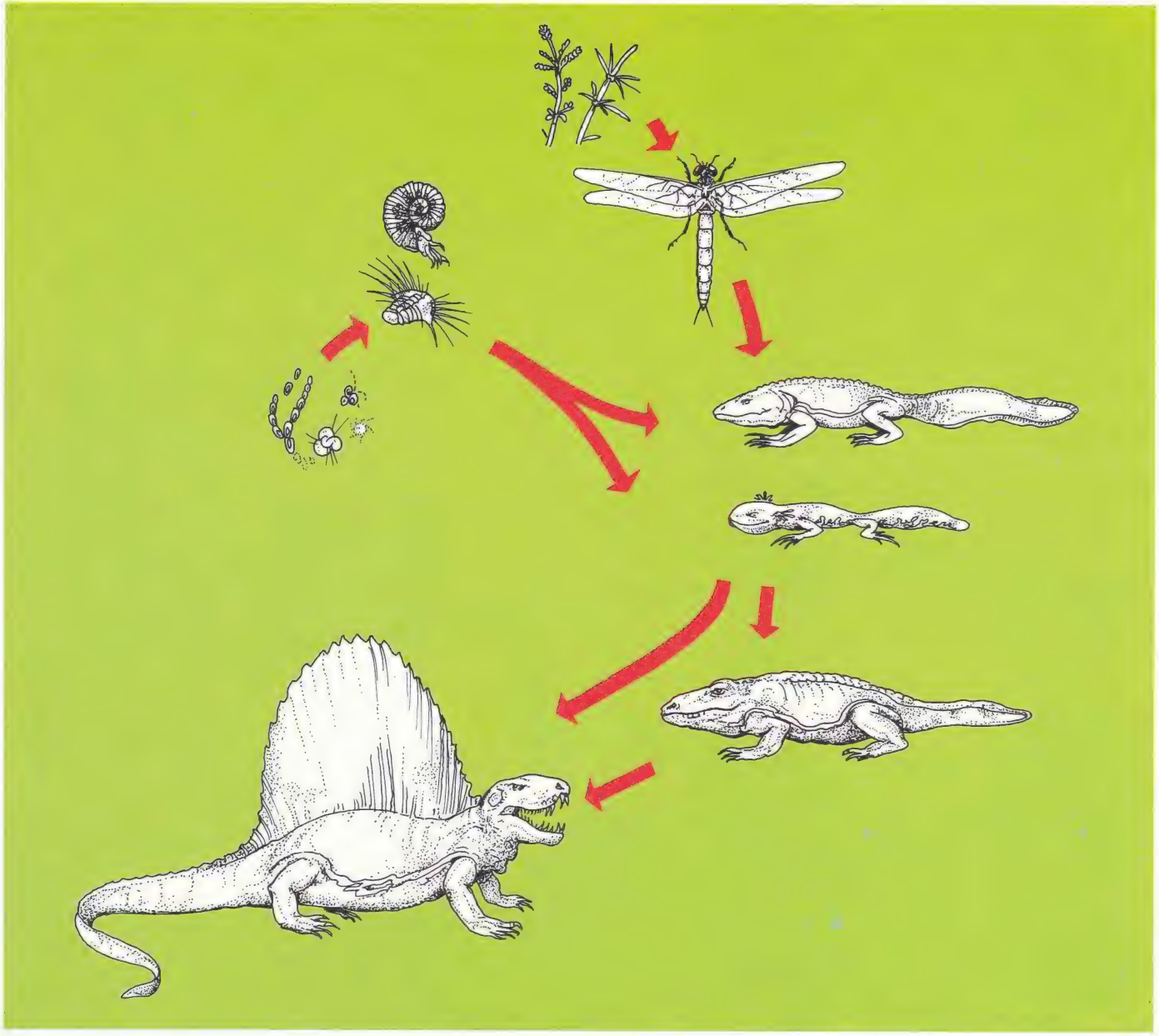
Oben: Die Skelette von großen Pelykosauriern aus den Red Beds von Texas; oben: Dimetrodon; unten: Ophiacodon. Beide waren mächtige Raubtiere, etwa 2,5 m lang.

Rechte Seite: Darstellung der großen, mit Rückenkamm versehenen Pelykosaurier des unteren Perms in ihrer natürlichen Umgebung. Im Vordergrund ist ein Dimetrodon gerade dabei, sich ein Diplovertebronjunges zu schnappen. Im Hintergrund ist der große, pflanzenfressende Edaphosaurus zu sehen.

und kräftiger als die Backenzähne, so daß das Gebiß ausgezeichnet dazu geeignet war, die jeweilige Beute in Stücke zu reißen.

Neben diesem furchterregenden Raubtier gab es den *Edaphosaurus*, der ebenfalls durch die Wälder und Steppen des Westens zog. Er war 3 m lang und besaß ebenfalls einen hohen Rückenkamm. Da er sich jedoch von pflanzlicher Kost ernährte, war er ziemlich harmlos. Als Pflanzenfresser weisen ihn v. a. seine Zähne aus, die alle gleich groß waren.

Es wurden viele Hypothesen aufgestellt, um den Zweck des Rückenkamms bei den großen Pelykosauriern zu erklären. Heute nimmt man an, daß er einen ersten Versuch darstellt, die Körpertemperatur der Reptilien zu regulieren. Wie die Fische und die Amphibien sind auch die Reptilien wechselwarm, d. h., ihre Körpertemperatur hängt von der Temperatur ihrer Umgebung ab. Kälte macht sie apathisch, zu viel Hitze dagegen kann für sie tödlich sein. Dank ihrer eigenartigen „Rückenflosse" schafften es die Pelykosaurier nun, mit solchen Schwierigkeiten fertig zu werden. Sie setzten bei Kälte ihren Rückenkamm in diagonaler Richtung der Sonne aus, damit er die wärmenden Strahlen aufnehmen und an den



Eine Nahrungskette im unteren Perm: einzellige Organismen und Blaualgen, Trilobiten, Ammoniten, Landpflanzen (Kalamiten), Insekten (Meganeura), embolomerische Amphibien (Diplovertebron), rhachitome Amphibien (Protriton), große rhachitome Amphibien (Eryops) und große, fleischfressende Pelykosaurier (Dimetrodon).

übrigen Körper weitergeben konnte. Wenn es ihnen zu heiß wurde, stellten sie sich so hin, daß der Kamm parallel zu den Sonnenstrahlen stand und damit möglichst wenig Wärme aufnahm. Dieses primitive Temperaturregelungssystem stellt einen ersten, bescheidenen Evolutionsschritt in Richtung auf die warmblütigen Säugetiere dar.

Diese ganze phantastische Welt der Pelykosaurier verschwand als Folge der großen ökologischen Krise des Perms: Das Klima wurde trockener, die Tümpel trockneten aus; es gab andere Pflanzen. Die amphibischen Tiere wurden zerstreut und verschwanden und mit ihnen die fleischfressenden Pelykosaurier, die sich von ihnen ernährt hatten. Ihre Nachfolger vermehrten sich jetzt erstaunlich schnell, und es entstanden völlig neue Arten, besonders in Südafrika.

Die Reptilien des Perms

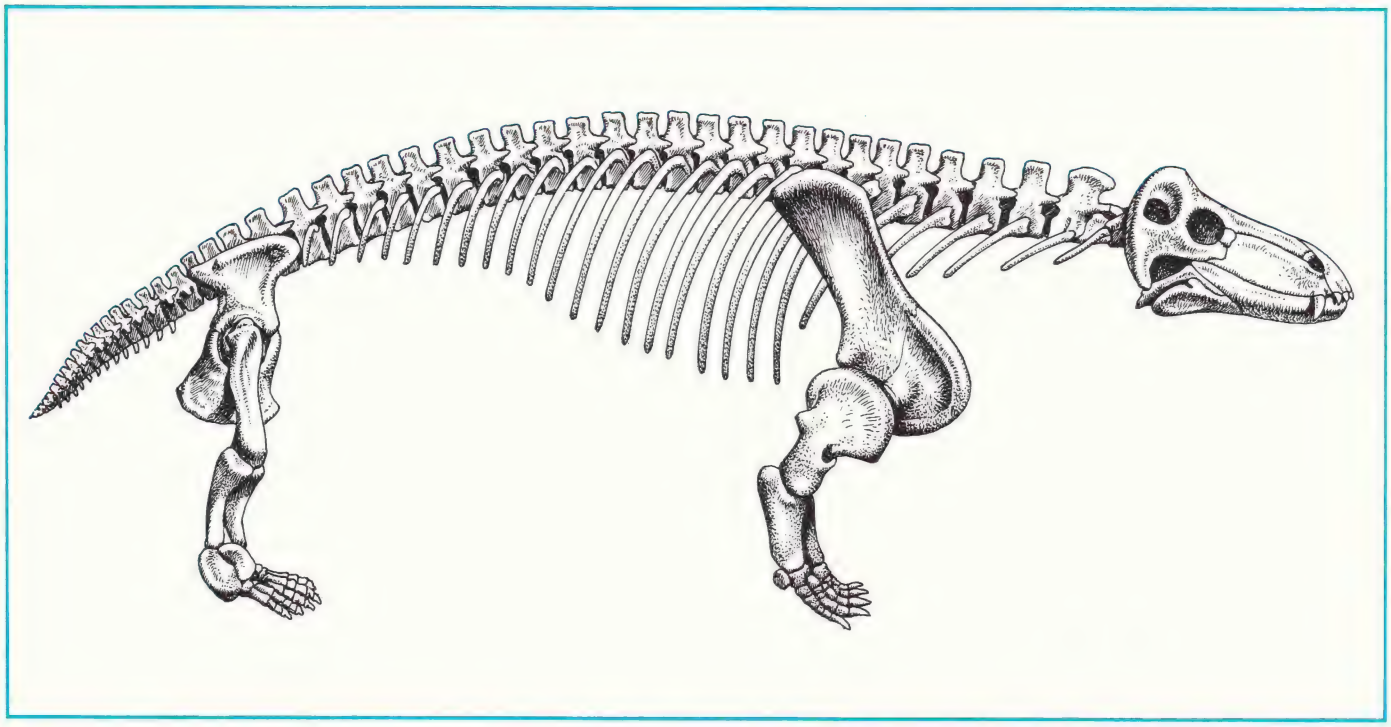
Die Expansion der Möchtegernsäuger

Wir wissen nicht genau, wann die Nachfolger der Kotylosaurier in der Karru ankamen, aber wir wissen, daß sie im mittleren Perm einen außerordentlich fruchtbaren Stamm, die *Therapsiden,* mit Übergangsformen zu den Säugetieren begründeten. Diese Möchtegernsäuger hatten einige Eigenschaften, die denen der höher entwickelten Tetrapoden entsprachen. Sie entwickelten auf Grund der natürlichen Auslese eine aufrechtere und elegantere Fortbewegungsart. Etwa gleichzeitig wurden die einzelnen Teile ihres Skeletts in Richtung auf eine vollkommenere Form weiter ausgestaltet. Die Zähne differenzierten sich oft in Schneide-, Eck- und Backenzähne, wie bei den Säugetieren.

Am Anfang gab es unter den Therapsiden wie vorher bei den Texas-Pelykosauriern sowohl Fleisch- als auch Pflanzenfresser. Die sog. *Titanosuchi,* riesige Echsen mit scharfen Zähnen und besonders ausgeprägten Eckzähnen, verbreiteten sich über die vom Wind gepeitschten Steppen der Karru. Wenn sie ihre Mäuler schlossen, ragten die Eckzähne nach außen, wodurch sie ziemlich wild aussahen.

Harmlose Pflanzenfresser von ungeheurer Größe streiften zwischen den Raubtieren umher. Unter ihnen war der *Moschops* der bemerkenswerteste: ein plumpes Tier, 2 m lang, mit einem kurzen Hals, aber mit aufrecht gehaltenem Kopf. Dank dieser Kopfhaltung konnte er jede Gefahr rechtzeitig erkennen, während er zwischen den Hügeln und Dünen an den saftigen Pflanzen kaute. So war er jederzeit imstande, bei Annäherung eines Titanosuchus die Flucht zu ergreifen.

Die Titanosuchi wanderten in Herden durch die endlose Weite der alten Karru. Sie waren erheblich höher entwickelt als die schwerfälligen, kopflastigen Pareiasaurier. Aber trotz ihrer differenzierteren Entwicklung stellten auch sie nur Übergangsformen dar und verschwanden bald wieder. An ihre Stelle traten höher entwickelte Lebewesen, die in mancher Beziehung noch seltsamer waren. Jetzt war die Karru von neuen Raubtieren und Pflanzenfressern bevölkert, die sich an die unterschiedlichen Umgebungen von Sumpf, Fluß und Steppe angepaßt hatten. Bald waren die Therapsiden über ganz Gondwanaland verbreitet und noch später in jedem Kontinent der Erde außer Australien anzutreffen. Dies geschah am Ende des Perms.



Reptilien mit Schnabel und Reptilien mit Säbelzähnen

Die enorme Ausbreitung der Therapsiden beruhte hauptsächlich darauf, daß sich eine ihrer Gruppen als erstaunlich anpassungsfähig erwies: die *Dicynodontia.* Der aus griechischen Wortelementen gebildete Name bedeutet etwa „mit zwei Hundszähnen ausgestattet". Tatsächlich besaßen diese Tiere zwei große obere Eckzähne, die kräftig entwickelt waren und aus ihren Mäulern herausragten, sogar noch stärker, als es bei dem Titanosuchus der Fall war. Während jedoch bei den Titanosuchi die übrigen Zähne kräftig und scharf zugespitzt waren, schienen die Dicynodontia wenige oder gar keine weiteren Zähne gehabt zu haben. Statt dessen verfügten sie über einen hornigen Schnabel wie die Schildkröte.

Viele Dicynodontia waren Pflanzenfresser. Einige waren auch Insektenfresser und werden ihre scharfen Eckzähne wohl dazu benutzt haben, die Erde auf der Suche nach ihrer Lieblingsbeute aufzuwühlen. Diese Reptilien waren kräftig gebaut. In ihren Bewegungen jedoch wirkten sie unbeholfen. Das lag daran, daß sie auf der Suche nach Nahrung ihren Kopf gewöhnlich tief zwischen ihren weit spreizenden Vorderfüßen hielten. Ihre Größe schwankte zwischen der eines Kaninchens und der eines Nashorns.

Unter den verschiedenen Gruppen von Dicynodontia im oberen Perm Südafrikas gab es den *Endothiodon,* den *Myosaurus* und den *Palemydops;* alles seltsame Namen und noch seltsamere Tiere. Der *Lystrosaurus* erschien am Ende des Perms und vermehrte sich in den darauffolgenden Zeitaltern so beträchtlich, daß er in den Gebieten, wo heute die öde Antarktis liegt, weit verbreitet war. Er war etwa 90–120 cm lang und lebte wie das heutige Nilpferd in Flußgewässern. Seine Nasenöffnungen waren deswegen zugleich nach innen und nach oben gerichtet, so daß er immer noch atmen konnte, auch wenn er fast vom Wasser bedeckt war.

Skelett von Jonkeria, einem gigantischen Titanosuchus aus dem südafrikanischen Perm. Dieses Tier war mehr als 4 m lang. Seine oberen Eckzähne ragten wie Krallen aus dem geschlossenen Maul hervor.

Außer durch die Dicynodontiaherden waren die Therapsiden noch durch andere, mit Zähnen und Klauen bewaffnete Gruppen vertreten. Sie hatten eher Ähnlichkeit mit Wölfen oder Schakalen als mit Reptilien. Es waren die *Gorgonopsiden,* schlanke Raubtiere, die sich schnell bewegten und deren Zähne die Beute zertrümmern und zerreißen konnten. Auch diese Tiere verfügten über riesige obere Eckzähne. Aber anders als bei den Dicynodontia benutzten sie diese Zähne nicht etwa dazu, die Erde auf der Suche nach Insekten aufzuwühlen. Vielmehr schlugen die Gorgonopsiden ihre Zähne in den Hals ihrer Beutetiere und hielten diese dadurch so fest, daß sie nicht mehr fliehen konnten. Genau wie die berüchtigten Säbelzahntiger 225 Millionen Jahre später sperrten die Gorgonopsiden, wenn sie angriffen, ihre Mäuler weit auf, um ihre messerscharfen Fangzähne in einem tödlichen Biß über ihrem Opfer zu schließen.

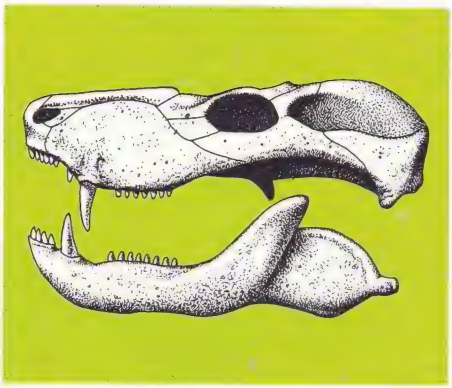
Die Karrusteppe in Südafrika. In dieser Umgebung, die damals genau so trocken war, fand schon im Perm eine rasch voranschreitende Entwicklung bei den Reptilien statt. Wahrscheinlich waren es gerade die Unbilden einer solch ungünstigen Umwelt, die diese Entwicklung vorantrieben.

Im oberen Perm verbreiteten sich die Dicynodontia fast überall. Diese Reptilien waren so groß wie Nashörner, lebten in Herden und besaßen ein Paar Zähne, die mit den oberen Eckzähnen von Säugetieren vergleichbar sind. Dennoch waren sie als Beute der aktiveren Gorgonopsiden vorgesehen, sehr schneller Raubtiere, die lange, dolchartige obere Eckzähne besaßen. In dieser Darstellung greifen einige Gorgonopsiden (Lycaenops) die friedfertigen Dicynodontia an.

Natürlich waren diese Tiere durch die große Fülle von Pflanzen- und Insektenfressern begünstigt. Bei einem so reichen und vielfältigen Nahrungsangebot konnten sie üppig gedeihen. Eine der bekanntesten Arten war der *Lycaenops,* der mit 1 m Körperlänge etwa die Größe eines Schakals hatte. Es muß jedoch gesagt werden, daß es, was seine Art zu fressen betrifft, keine Ähnlichkeit zwischen dem Lycaenops und dem heutigen Schakal gibt. Wie alle Gorgonopsiden griff der Lycaenops nur lebende Tiere an. Dies konnte durch Untersuchungen von Fossilien in der Karru festgestellt werden.

Die phantastische Welt der Reptilien im Perm

Wie die Nachfolger der Dicynodontia verbreiteten sich auch die Gorgonopsiden über die ganze Erde. Einer von ihnen, der *Arctognathus,* hinterließ seine Fossilienreste praktisch überall, und zwar in einem Gebiet, das sich von Südafrika bis Zentraleuropa und bis zum fernöstlichen Asien erstreckte. In Rußland wurde in permischen Schichtungen die *Inostrancevia* entdeckt, ein reptilienartiger Wolf mit Säbelzähnen. Diese Tiere waren Zeitgenossen von verschiedenartigen anderen Raubtieren, die ebenfalls bestens ausgerüstet waren. Es waren die *Therocephali,* die den Säugetieren noch näherstanden als ihre Vorgänger. Schritt für Schritt gelangten die Tetrapoden über unendlich weite Zeiträume an die Spitze des Tierreichs.



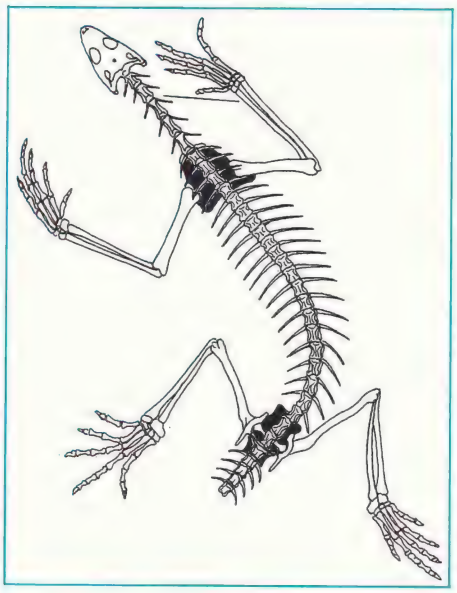
Der Schädel eines Scylacosaurus, eines Therozephalen aus den Permschichtungen der Karru. Die Therozephalen waren fleischfressende Reptilien, deren Gebiß dem der Säugetiere ähnelte.

Im Perm gewinnt die Welt der Reptilien allmählich Gestalt. In den sandigen Ebenen der Karrusteppe gab es am Ende des Perms Herden von schwerfälligen Pflanzenfressern aller Größen und Arten (Dicynodontia), die begierig die staubigen Steppen abgrasten. Dazwischen tummelten sich kleinere Gruppen von beweglichen Raubtieren mit scharfen Zähnen (Gorgonopsiden und Therocephali), die auf nichts anderes aus waren, als den Pflanzenfressern Fallen zu stellen. Stellen wir uns vor, daß wir dieses Panorama großer pflanzenfressender Herden und mehr oder weniger deutlich zu erkennender kleiner Rudel von Raubtieren von der Anhöhe eines entfernten Hügels als fiktive Beobachter verfolgten: Ist es nicht das gleiche Bild, das wir auch heute in einigen Teilen Afrikas gerade so vorfinden würden? Wir müßten lediglich an die Stelle der pflanzenfressenden Reptilien eine Herde Antilopen und Zebras und an die Stelle der Fleischfresser Rudel von Löwen und Leoparden setzen.

Diese verblüffende Ähnlichkeit, die sich so plötzlich und unerwartet anbietet, gibt es tatsächlich. Wir dürfen allerdings unserer Phantasie nicht allzu freien Lauf lassen. Sowohl die Antilope als auch der Löwe sind hochentwickelte Säugetiere, die Therapsiden dagegen waren immer noch recht primitive Reptilien. Es gibt also keinen wirklich sinnvollen Vergleich zwischen den beiden Verhaltensmustern. Nur eine Tatsache bleibt bestehen: So wie im Afrika der heute lebenden Säugetiere gab es auch im alten Afrika der Reptilien eines jener typischen ökologischen Gleichgewichte, das Fleisch- und Pflanzenfressern in großer Zahl nebeneinander zu leben erlaubte, ohne daß das katastrophale Folgen für die Pflanzenfresser gehabt hätte. Es dauert immer sehr lange, bis ein solches Gleichgewicht erreicht ist, das tatsächlich Millionen von Jahren erhalten bleibt. In Fällen wie dem vorliegenden liefert uns die Paläontologie einige sprechende Beispiele fest begründeter „natürlicher" Ökosysteme, die sich von den instabilen Ökosystemen in der Folge menschlicher Eingriffe und Umgestaltung so bedeutungsvoll, ja vorteilhaft unterscheiden.

Rechte Seite: Im unteren Perm waren mehrere Seen und Flüsse in Gondwanaland von Mesosauriern bevölkert. Diese kleinen, räuberischen Reptilien waren mit sehr scharfen Zähnen ausgestattet.

DiGIANCIO



Wasser- und Landreptilien

Während die mit Rückenkamm versehenen Pelykosaurier in Nordamerika und Europa den Weg für das Auftreten der bemerkenswerten Therapsiden bahnten, gab es in einer südwestlichen Gegend Gondwanalands einige kleine, im Süßwasser lebende Reptilien. Diese Tiere hatten sich an ihre Umgebung so hervorragend angepaßt, daß sie allmählich den gigantischen Seedrachen glichen, die später im Zeitalter der Dinosaurier erscheinen sollten. Sie sind als *Mesosaurier* bekannt und lebten am Anfang des Perms. Wir wissen nicht, wer ihre Vorfahren waren (vielleicht liegen ihre fossilen Überreste noch in Gondwanaland in irgendeiner bis jetzt unerforschten Schichtung aus dem Karbon). Als sie ausstarben, hinterließen sie keine Nachfolger.

Obwohl nur 30 bis 40 cm lang, führten die Mesosaurier in Seen und Flüssen das aktive Leben von Raubtieren. Ihr Körper war schlank und echsenartig. Ihre Füße waren wahrscheinlich zu Schwimmfüßen umgebildet. Auch der Schwanz war so geformt, daß er das Schwimmen erleichterte. Der Kopf endete in einer Spitze, während das Maul mit großen, gebogenen, spitzen Zähnen bewaffnet war. Sie ernährten sich wohl von Fischen, die sie, schnell schwimmend, leicht erreichen konnten.

Während sich die Mesosaurier im Süden Gondwanalands im Süßwasser vermehrten, entwickelten sich weiter im Norden die wahren Vorfahren der Seedrachen eines späteren Zeitalters. Uns ist nur eine Gruppe bekannt, die sog. *Proterosaurier,* die im Perm als kleine und mittelgroße, eidechsenähnliche Geschöpfe auf dem Festland lebten. Erst viel später kehrten ihre Nachfolger zum Meer zurück, um es zu beherrschen. Wissenschaftler glauben, daß sie direkt von den Kotylosauriern abstammen, die im Karbon lebten. In den Red Beds von Texas wurde ihr erster Vertreter, der *Araeoscelis,* gefunden, ein ca. 30 cm langes Tier mit großen Füßen und kleinem Kopf. Ähnliche Arten lebten in Europa, u. a. der *Proterosaurus,* nach dem die ganze Gruppe benannt ist. Diese Echse war etwa 1 m lang und lebte im oberen Perm.

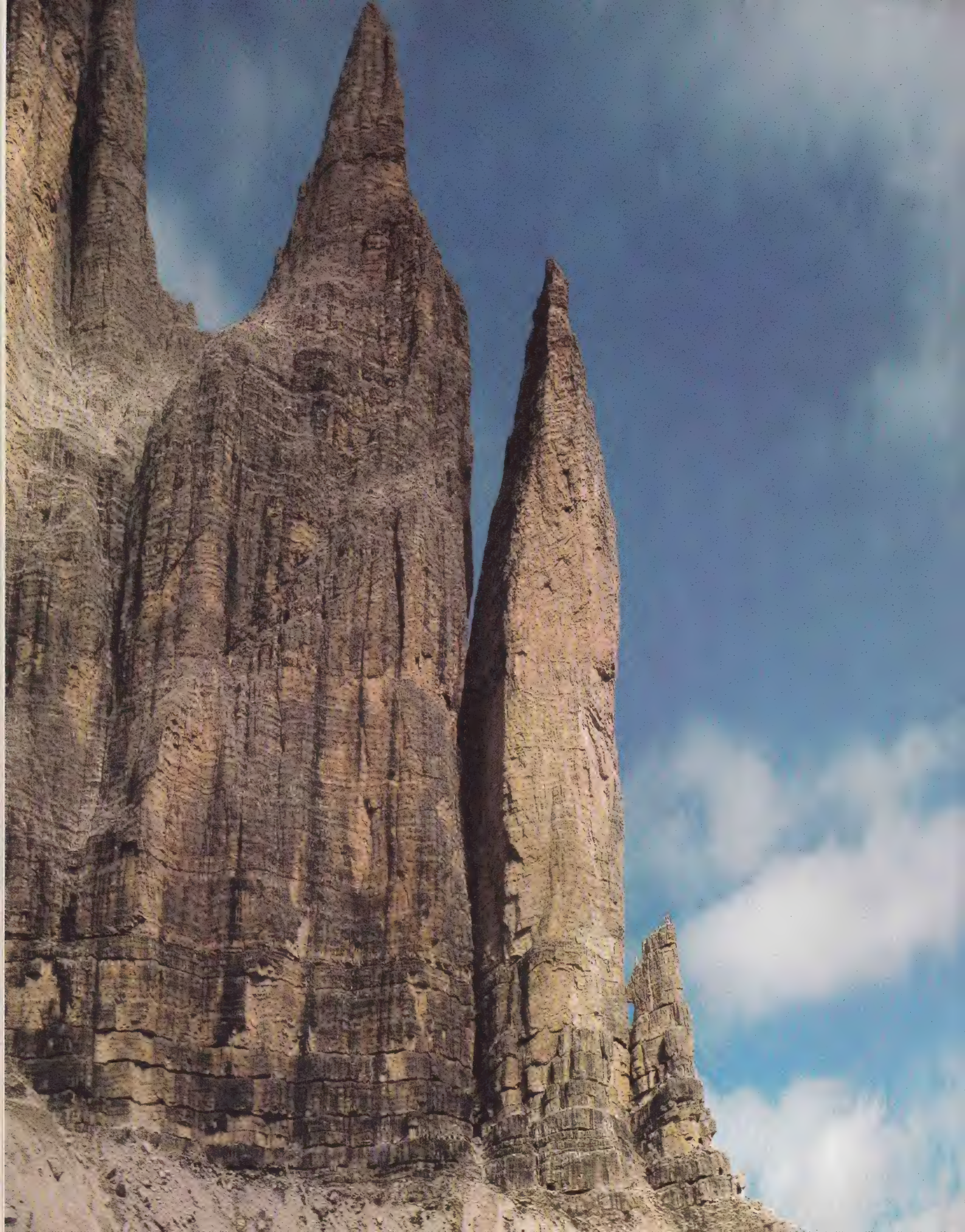
Weiter oben haben wir die Entwicklung der Reptilien im Perm mit der explosiven Entwicklung einer Pflanze verglichen, die reiches Laubwerk

Oben, links: Das Skelett eines Araeoscelis, eines kleinen Reptils aus den Schichtungen des unteren Perms in Texas. Obgleich er äußerlich einer Eidechse ähnelte, war der Araeoscelis der Vorfahr der großen Seereptilien, die im Zeitalter der Dinosaurier lebten.

Oben, rechts: Die Versteinerung eines Tridentinosaurus, der mit unversehrter Haut erhalten ist. Dieses Lebewesen war ein kleines Reptil (mit dem Araeoscelis verwandt), das in dem Gebiet lebte, wo jetzt die südlichen Alpen liegen.

hervorbringt, sobald sie ans Licht tritt. Allerdings scheint es, daß das, was wir bisher über die Seedrachen erfahren haben, nicht alles ist: Einige der Blätter an dieser mächtigen „Pflanze" sind unbekannt, entweder, weil die Paläontologen noch keine zu den einzelnen Zweigen gehörigen Fossilien gefunden haben, oder vielleicht deshalb, weil solche Fossilien zerstört wurden und verloren gegangen sind. Ein typisches Beispiel hierfür sind die Dinosaurier. Über diese Lebewesen, die eine so zentrale Bedeutung in der Geschichte der Tetrapoden haben und im Perm gelebt haben müssen, wissen wir nichts bis zum Ende des Paläozoikums.

Darstellung eines Proterosaurus, eines mit dem Araeoscelis verwandten Reptils. Es hatte eine Länge von ungefähr 1 m. Seine fossilen Überreste wurden in Deutschland gefunden.



Die gigantischen Amphibien der Trias

Weitere Veränderungen auf der Erde

Mit der aufsehenerregenden Geschichte der permischen Reptilien haben wir das Ende der langen und erstaunlichen Geschichte des Erdaltertums erreicht, das die Entstehung der Wirbeltiere aus der Vielfalt der Lebewesen enthält: die Entwicklung der Fische und den Ursprung der Tetrapoden. Am Ende dieser Periode gelangten die Vierfüßer an die Schwelle zum Säugetierstadium. Das Leben war einen gewaltigen Evolutionsschritt vorangekommen. Schließlich hatte es eine ungeheure Klimakrise gegeben. Die Pflanzen, die Reptilien und die Insekten hatten sich aber trotz dieser Krise überall ausgebreitet. Die Erde war endgültig zu einem bevölkerten Lebensraum geworden, wie andersartig sie auch im Vergleich zu ihrem heutigen Zustand ausgesehen haben mag.

Das *Paläozoikum* oder *Erdaltertum* endete vor 225 Millionen Jahren. Es folgte das *Mesozoikum* oder *Erdmittelalter,* das 160 Millionen Jahre später endete. Diese Zwischenperiode teilen die Geologen in drei Unterperioden ein: Beginnend mit der ältesten, heißen sie Trias, Jura und Kreide. In allen dreien herrschten die Reptilien unangefochten über unseren Planeten, manchmal von riesenhaftem Wuchs, ungeheuerlich und gelegentlich der äußeren Erscheinung nach großartig.

Die *Trias,* der erste Teil dieses neuen Zeitalters, endete vor 195 Millionen Jahren; sie dauerte also rund 30 Millionen Jahre. In dieser so außerordentlich langen Zeitspanne erholte sich die Erde vollständig von der Krise des Perms. Das Klima wurde Schritt für Schritt besser, da die Temperaturen anstiegen, bis sie schließlich unsere heutigen übertrafen. Die Polareiskappe aus dem unteren Perm war längst verschwunden. In der Trias entwickelte sich keine neue Eiskappe, obwohl es in den höheren Gebirgslagen Eis gab. Statt dessen gab es, gleichsam zur Erinnerung an die Zeiten des Perms, ausgedehnte Dürregebiete.

Die Dolomiten in den südlichen Alpen. Diese spitzen Bergtürme entstanden durch die Einwirkung der Erosion auf die Felsmassen, die nichts anderes sind als ungeheuer große Korallenriffe, die sich in den Meeren der Trias gebildet haben.

Der Versteinerte Wald von Arizona

Die Kontinente stellten in diesem Zeitalter noch einen Block dar. Diese Pangäa war ein auffallend geschlossenes Gebilde. Allerdings zeigten sich schon hier und da Ansätze für die zukünftige Aufteilung, welche schließlich nach unendlich langer Zeit zur heutigen geographischen

Oben: Ein vollkommen erhaltener Knochenfisch (Paralepidotus ornatus) aus den Meeren der Trias, gefunden in den Schichtungen der Voralpen in der Lombardei, Italien.

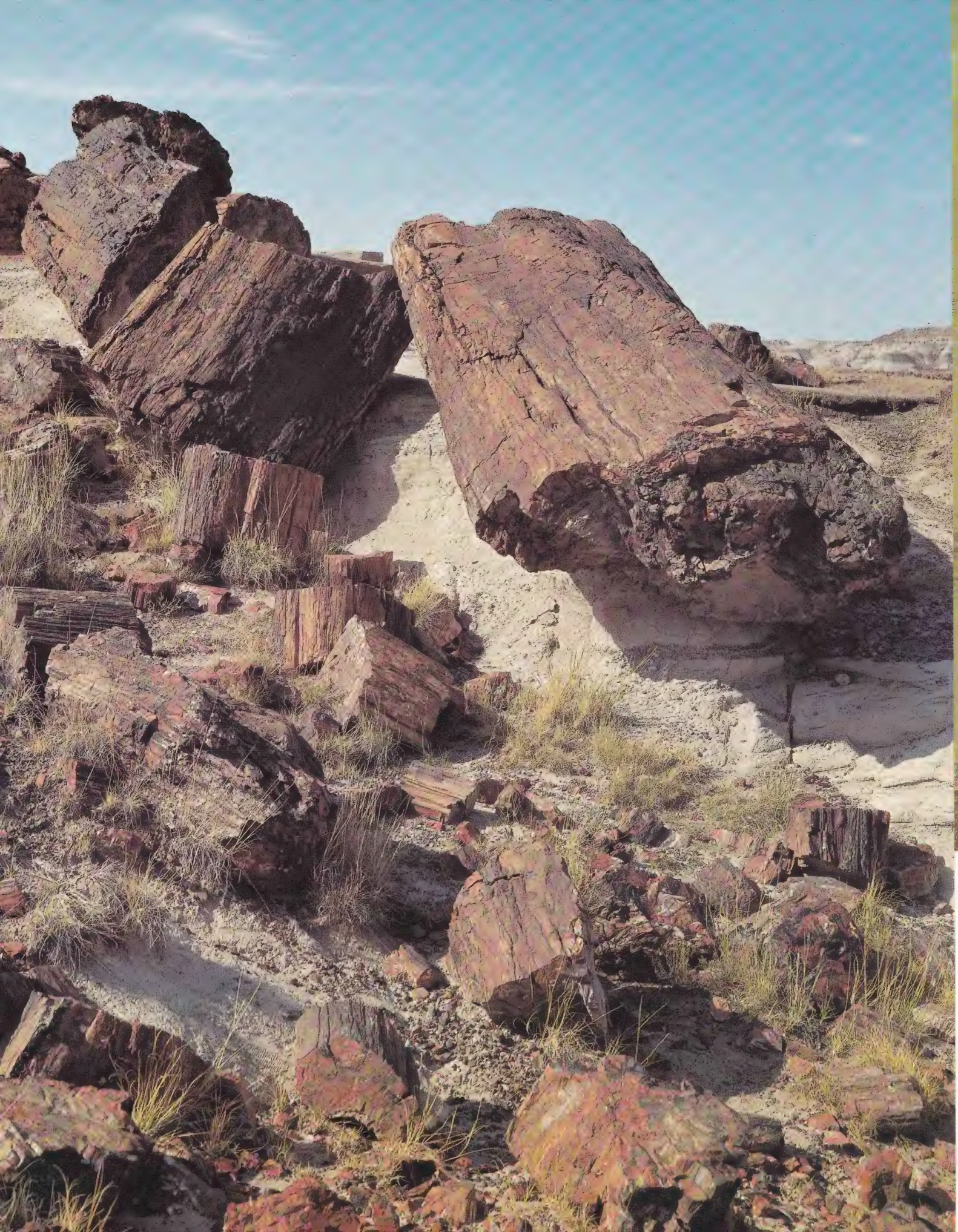
Rechte Seite: Der berühmte „Versteinerte Wald" in Arizona, ein Nadelbaumwald aus der Trias, der in harten Fels verwandelt wurde. Nachdem die Bäume umgefallen waren, wurden sie im Laufe der Zeit von Gesteinsschichten überlagert. Zeitweilige Überschwemmungen dieses Gebiets durch Gewässer, die reich an Silicatverbindungen waren, bewirkten, daß die versunkenen Bäume langsam in Kieselgestein umgewandelt wurden. Viel später wurden die überlagernden Felsschichten durch Erosion weggefressen und die darunterliegenden Bäume wieder freigelegt.

Landkarte der Erde führten. Der größere Teil der Landmassen, die heute Europa und Nordamerika bilden, befand sich noch in der Äquatorzone, so daß man in diesen Gegenden Versteinerungen typisch tropischer Organismen finden kann.

Es erscheint seltsam, aber die untersten Lagen der Trias weisen trotz der hohen Temperaturgrade keine gemeinsamen Felsspuren auf. Dies läßt sich als die verzögerte Auswirkung der permischen Krise deuten. Schon wenig später, in der mittleren Trias, gab es wieder üppige Korallenriffe, die uns einige herrliche Berggruppen wie die Dolomiten in den südlichen Alpen hinterlassen haben.

In den erneut bevölkerten Meeren vermehrten sich wieder die Ammoniten und entwickelten einen bedeutenden Formenreichtum. Unter den Fischen waren die Haifische noch immer von der permischen Krise betroffen; dies setzte ihrer Entwicklung Grenzen. Aber die Knochenfische bevölkerten die Meere in großer Zahl. Äußerlich waren sie noch primitiv, bedeckt mit kräftigen, leuchtenden Schuppen, aber sie waren bereits die Vorboten der höher organisierten Knochenfische, die sich später entwickeln sollten.

Auf dem Festland wurde die Vegetation außerordentlich „neuzeitlich". In erster Linie beherrschten *Nadelbäume* das Bild. Die Vertreter der Gattung *Voltzia* (die wir bereits in Verbindung mit dem Perm erwähnten) waren hoch entwickelt. Äußerlich ähnelten sie stark unseren heutigen brasilianischen Araukarien. In der Trias muß es große Wälder von der Art, wie wir sie heute in Südamerika vorfinden, gegeben haben. Es gab auch Bäume, die der Zypresse und der Eibe glichen. Unter diesen Nadelbäumen entwickelte sich der schlanke *Ginkgobaum* besonders



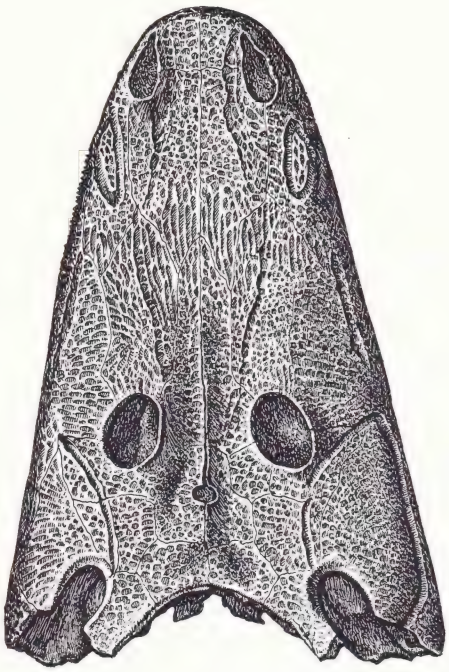
Unten: Der Schädel eines großen Stereospondylus, des Capitosaurus. Bei Tieren dieser Art befand sich auf dem Schädeldach neben den Augenhöhlen ein drittes Loch. Dieses Loch beherbergte das Pinealauge, ein mehr oder weniger funktionsfähiges drittes Sehorgan.

schnell. Eine andere Gruppe von noch heute existierenden Pflanzen, die damals zum ersten Mal auftraten, waren die *Palmfarne (Cycadales),* die Ähnlichkeit mit Palmen haben. Dem Untergang geweiht waren der Riesenschachtelhalm, die großen Farne und ähnliche Pflanzen, Überbleibsel der Wälder aus dem Erdaltertum.

Im östlichen Teil des US-Staates Arizona, unweit der Eisenbahnstrecke, welche Albuquerque mit dem Pazifik verbindet, gibt es ein großartiges Souvenir an die verschwundenen Wälder der Trias. Riesenhafte Stämme von Nadelbäumen waren dort durch einen Versteinerungsprozeß schrittweise, aber vollständig in Quarz verwandelt worden. Dies ist der berühmte „Versteinerte Wald" von Arizona. In einer Landschaft aus farbigen Felsen, durchfurcht von tiefen Schluchten und kleineren Cañons, erheben sich an den Abhängen riesige Baumstämme, Teilstücke von Bäumen, die frisch gefällt zu sein scheinen, und ganze zersplitterte Stämme. Sehr oft sind die Farbtöne einzigartig: Das Holz selbst hat eine bräunlichrötliche Färbung, die Rinde ist fast violett. Dies beruht auf dem Opal und dem Sardonyx, die diesen uralten Nadelbäumen die Festigkeit von sehr hartem Gestein verliehen haben.

Die gigantischen Amphibien der Trias

Es ist noch nicht lange her, daß Mitglieder einer paläontologischen Forschungsgruppe der amerikanischen Harvard-Universität eine Studienreise nach Neumexiko unternahmen und dort in einem kleinen Hügel aus Sand und Lehm, der aus der Trias stammt, eine seltsame Entdeckung machten. Sie fanden heraus, daß der Hügel auf einer 30 cm dicken Schicht ruhte, die ausschließlich aus mehr oder weniger verstümmelten Exemplaren von *Metoposaurus* bestand, großen Triasamphibien von etwa 2,40 m Länge. Man fand dort wenigstens 1 000 solcher Skelette. Die Schicht war bereits stark erodiert. In früheren Zeiten, als sie noch ihren vollständigen Durchmesser hatte, bestand sie womöglich aus mehreren tausend Metoposaurierfossilien.



Was könnte eine solch erstaunliche Massierung bewirkt haben? Die Antwort war ziemlich einfach: In der Trias muß es weit ausgedehnte Sumpfgebiete gegeben haben, die von Metoposauriern bevölkert waren. Diese Sümpfe trockneten allmählich aus, und für die sie bewohnenden großen Amphibien wurden mit der Zeit der Lebensraum und die damit verbundenen Lebensmöglichkeiten immer knapper. Eines Tages blieb nur noch ein Sumpf übrig. Dort versammelten sie sich zu Tausenden. Dann trocknete auch dieser Sumpf aus, und alle Metoposaurier starben. Sie starben, als wären sie noch immer Fische gewesen und nicht Lebewesen, die mit Hilfe von Lungen atmen konnten.

Wie wir sehen, überliefert uns dieser kleine Hügel in Neumexiko deutliche Beweise für den Untergang der Amphibien in der Trias. Auf Grund dessen gewinnen wir auch den Eindruck, daß es sehr viele ähnliche Schicksale gegeben haben muß. Obwohl die Metoposaurier groß und stark wirkten, waren sie durch ihren Körperbau gezwungen, ausschließlich im Wasser oder in Gewässernähe zu leben. Deshalb waren sie dem plötzlichen Klimawechsel, der die Sumpfgebiete zum Austrocknen verurteilte, nicht gewachsen. Sie hatten, wenigstens zum Teil, die Anpassungsfähigkeit, welche ihre Vorfahren so mühsam errungen hatten, bereits wieder verloren und waren nicht einmal mehr in der Lage, die primitiven Anpassungsversuche der frühesten Amphibien, der Ichthyostegen, nachzuvollziehen.

Darstellung eines riesenhaften Amphibiums der Trias, des Cyclotosaurus. Überreste dieses Tiers wurden in Nordamerika, Europa und auf Spitzbergen gefunden. Es war etwa 4 m lang und gehörte zur Gruppe der Riesenamphibien, der Stereospondyli.

Letztlich ist es den Reptilien zuzuschreiben, daß die Ausbreitung der Amphibien wieder auf das Wasser beschränkt wurde, von dem sie sich bereits gelöst hatten. Am Anfang der Trias starben die Rhachitomi aus und überließen das Festland den neuen Herrschern. Zur selben Zeit jedoch begannen sich in den Lagunen und Sümpfen, vom Wasser geschützt, die Vertreter der dekadenten Ordnung der Stegozephalen, zu der auch die Metoposaurier gehörten und die sich im oberen Perm von den Rhachitomi abgezweigt hatten, zu regen. Es war die Gruppe der *Stereospondyli,* die wahrhaft kolossale Formen annehmen sollten, wie sie nie zuvor gesehen worden waren.

Von Afrika ausgehend, verbreiteten sich die Stereospondyli schließlich über die ganze Erde, von Nordamerika und Grönland bis Australien

Oben: Schädel eines Mastodonsaurus aus Triasschichtungen in Mitteleuropa. Der Schädel dieses kolossalen Amphibiums erreichte eine Länge von 1,2 m.

Rechts: Darstellung des Mastodonsaurus in seiner natürlichen Umgebung. Dieser riesige Stereospondylus, das größte Amphibium, das je gelebt hat, erreichte eine Länge von 5 m. Hier sehen wir ihn an den Ufern einer Lagune in der Trias.

und in die Antarktis. Sie hatten einen riesigen, gedrungenen Kopf, aber eine verhältnismäßig leichte Knochenstruktur und feine Gliedmaßen, die sich ideal zum Schwimmen eigneten. Ihre bekanntesten Vertreter waren die *Mastodonsaurier (Riesenpanzerlurche)* der oberen Trias. Sie waren über 5 m lang bei einer Schädelbreite von mehr als 1 m.

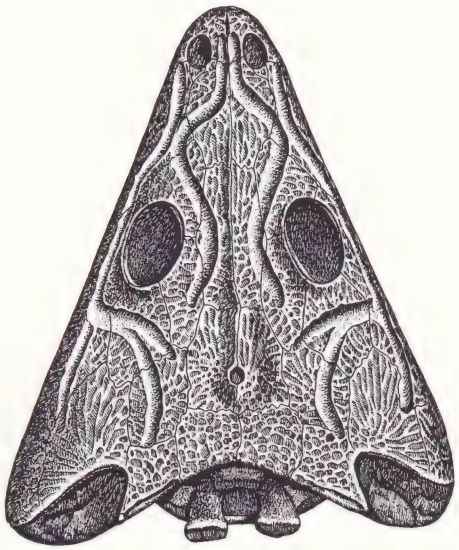
Der Untergang der Riesenamphibien

Die Wiederanpassung an das Wasser wurde bei den Amphibien der Trias so nachdrücklich vollzogen, daß einige Stereospondyli, nämlich die *Trematosaurier,* sich endgültig von den Sümpfen lösten und sich im Meer niederließen. Dieser außerordentliche Wechsel, der am Anfang der Trias stattfand, erwies sich zunächst als vorteilhaft. Fossilienreste von Trematosauriern fand man in Nordamerika, Grönland, Europa und Südafrika, was bedeutet, daß sie über weite Teile der Erde gediehen. Dies ist besonders bemerkenswert, wenn man sich daran erinnert, daß die Larven der heutigen Amphibien nicht imstande sind, sich im Salzwasser zu entwickeln; dasselbe galt wohl auch für die Larven dieser urtümlichen Amphibien. Man vermutet darum, daß die Trematosaurier zu den Flüssen zurückkehrten, um sich dort zu vermehren und ihre Eier in einer Umgebung abzulegen, die für ihre Entwicklung besser geeignet war. So macht das noch heute der Lachs.

In der mittleren Trias war die Geschichte der Meeresamphibien schon zu Ende, da die Trematosaurier zu dieser Zeit bereits ausgestorben waren. Warum sie von der Erde verschwanden, wissen wir nicht, auch nicht, warum die Amphibien das Meer verließen. Aber nachdem sie sich dazu entschlossen hatten, kehrten sie für immer zum Süßwasser zurück, in dem sie einst zu Hause gewesen waren.

In einigen Fällen hing dieser jammervolle Niedergang der großen Amphibien in charakteristischer Weise mit ihrer Unfähigkeit zur vollständigen Metamorphose zusammen. Die Lebewesen, die dieses Stadium erreicht hatten, konnten sich niemals völlig emanzipieren. Sie nahmen zwar an Größe zu, ihre Kiemen gaben sie aber nicht auf. Sie entwickelten daher auch keine Lungen und blieben wie die meisten Fische Wasserlebewesen. Sie vermehrten sich und starben als solche und machten keinerlei Bekanntschaft mit dem trockenen Festland.

Natürlich bildete dies alles auch ein sinnvolles Verteidigungssystem gegenüber den Gefahren einer wasserlosen Umgebung. Außerhalb des Wassers gab es jenseits des feuchten Schlammstreifens oft trockene oder halbtrockene Stellen, an denen es von räuberischen Reptilien nur so wimmelte. Sich dorthin zu begeben, hätte bedeutet, sich unerhörten Gefahren auszusetzen. Andererseits dezimierte die natürliche Auslese diejenigen erbarmungslos, die solchen Risiken auswichen. Die trägeren und dekadenteren Riesen blieben in ihrer sicheren, begrenzten Umgebung und verzichteten völlig auf die Entwicklung von Lungen. Und dies bedeutete dann das Ende ihrer Entwicklung, so daß sie die ganze mühsame und langwierige Entwicklung zuvor umsonst vollzogen hatten: Sie fielen unter das Niveau zurück, das schon im Devon vom Eusthenopteron und anderen Lungenfischen erkämpft worden war.



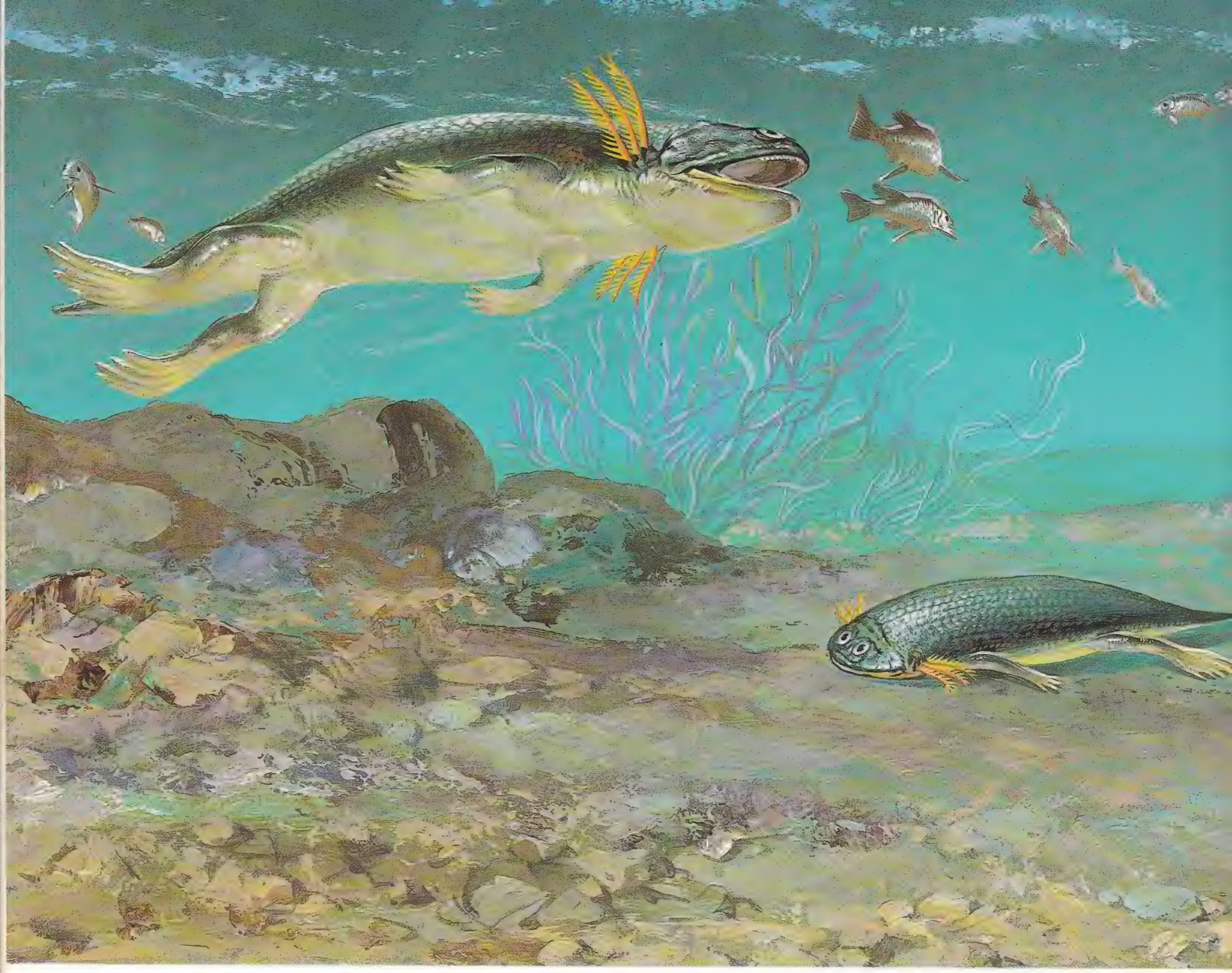
Der Schädel eines typischen Trematosaurus der unteren Trias, des Lyrocephalus. Die Trematosaurier waren nicht nur vollkommen an das Wasser angepaßt, sie lebten auch als einzige Amphibien im Meer. Auf dieser Zeichnung sind die gebogenen, symmetrischen Rillen, die die Verzweigungen des Seitenlinienorgans aufnahmen, besonders klar zu erkennen.

Das Wunder der Neotenie

Ein interessantes Phänomen ist die *Neotenie.* Sie besagt, daß sich ein Lebewesen im Larvenstadium vermehrt und dadurch das Überleben seiner Art sichert. Wir finden sie bei einigen heute lebenden Amphibien und können daher die Ereignisse der Trias nachvollziehen.

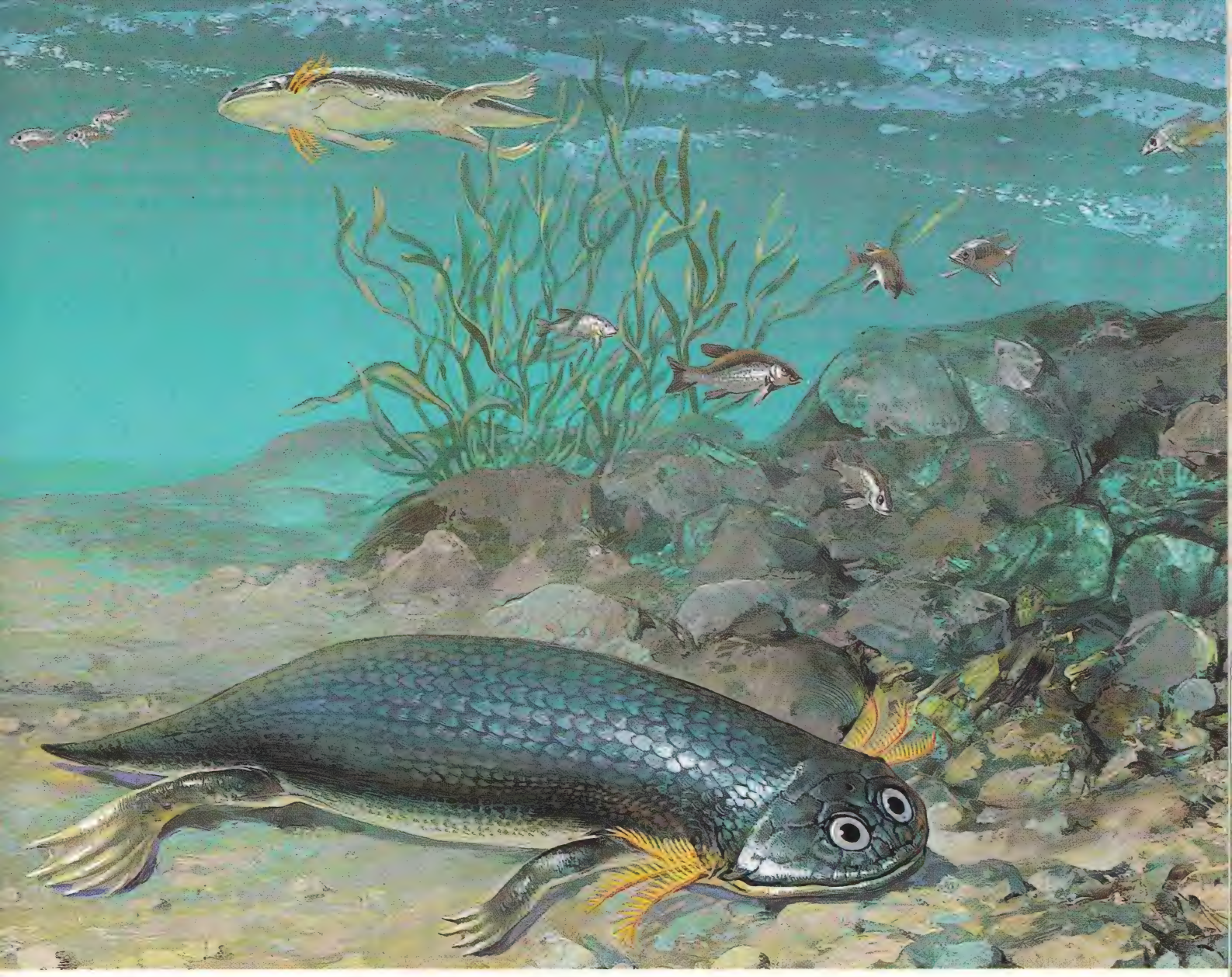
Oben: Unter den Amphibien gibt es einzelne Arten, die nicht eine gewöhnliche Metamorphose durchmachen und sogar als ausgewachsene Exemplare noch Kiemen besitzen können. Solche Lebewesen sind ausschließlich Wassertiere und atmen sowohl mit äußeren Kiemen als auch mit Lungen. Die Aufnahme zeigt eine dieser Amphibienarten, den amerikanischen Armmolch (Siren lacertina).

Links: Ein weiteres Beispiel eines heutigen Amphibiums: der Gebänderte Querzahnmolch (Amblystoma opacum).



Der bekannteste Fall von Neotenie wurde 1865 entdeckt, als im Aquarium des Jardin des Plantes in Paris einige aus Mexiko stammende Amphibien der Art *Axolotl* ausgestellt wurden. Diese Amphibien sahen aus wie Salamanderlarven. Sie waren rosa gefärbt, und an beiden Seiten ihres Halses trugen sie zwei leuchtend rote Kiemenbüschel. Sie waren natürlich völlig ans Wasser gebunden. Vom Axolotl weiß man, daß er sich ganz regulär vermehrt und sich niemals an Land begibt. Aber alle diese scheinbar gut untermauerten Kenntnisse erwiesen sich hier als eitel Trug. Eines Tages nämlich nahmen die im Pariser Aquarium ausgestellten Exemplare eine dunklere Hautfarbe an, wurden schlanker und verloren ihre Kiemen. Alsdann verließen sie das Wasser und verwandelten sich in wundervolle Salamander der Art *Tigersalamander* (Amblystoma tigrinum), wie sie in Nordamerika weit verbreitet sind. Also war der Axolotl kein Amphibium als solches, sondern nur eine *Larve:* eine verblüffende neue Erkenntnis für die Zoologen.

Man beobachtete jedoch, daß sich der Tigersalamander in den Gebieten, in denen er gefunden wurde, normal weiterentwickelte. Nur in



einigen Biotopen zeigte sich eine rückläufige Entwicklung, bei der die Larve auch im ausgewachsenen Zustand ihre ursprüngliche Form beibehielt, d. h. zur Fortpflanzung heranreifte und so reine Wassertiere hervorbrachte. Solche Biotope sind die Berge des Westens, genauer gesagt, Mexikos. Wird aber der Axolotl geeigneten Umweltbedingungen ausgesetzt, dann entwickelt er sich zum Tigersalamander.

Der Axolotl und andere Amphibien mit fortgesetzter Neotenie erschließen uns die sonderbare Organisation einiger der letzten *Labyrinthzähner (Labyrinthodontia).* Der bekannteste unter ihnen war der etwa 90 cm lange *Gerrothorax.* Er existierte gegen Ende der Trias und war den Fischen, die auf dem Meeresgrund lebten, ähnlich: Er hatte so gut wie keinen Hals, und sein Körper war platt wie bei einigen Plattfischen (z. B. der Scholle) von heute; er hatte schwache, nach hinten gerichtete Füße, die zum Gehen ungeeignet waren; an den Seiten des Halsansatzes entsprossen bleibende Kiemenbüschel. Dieses außerordentliche Lebewesen, das wie ein Fisch mit Füßen aussah, markierte das Ende des großen Amphibienreichs.

Darstellung eines der letzten Stereospondyli, des bemerkenswerten Gerrothorax, der gegen Ende der Trias lebte. Wie beim heutigen Armmolch bildeten sich bei ihm während der Metamorphose die Kiemen nicht zurück. Der Gerrothorax war 90 cm lang und mit sehr kleinen Gliedmaßen ausgerüstet, die nur zum Schwimmen benutzt wurden. Er lebte wie eine Scholle auf dem Grund der Seen.

Die Morgendämmerung der Dinosaurier und der Säugetiere

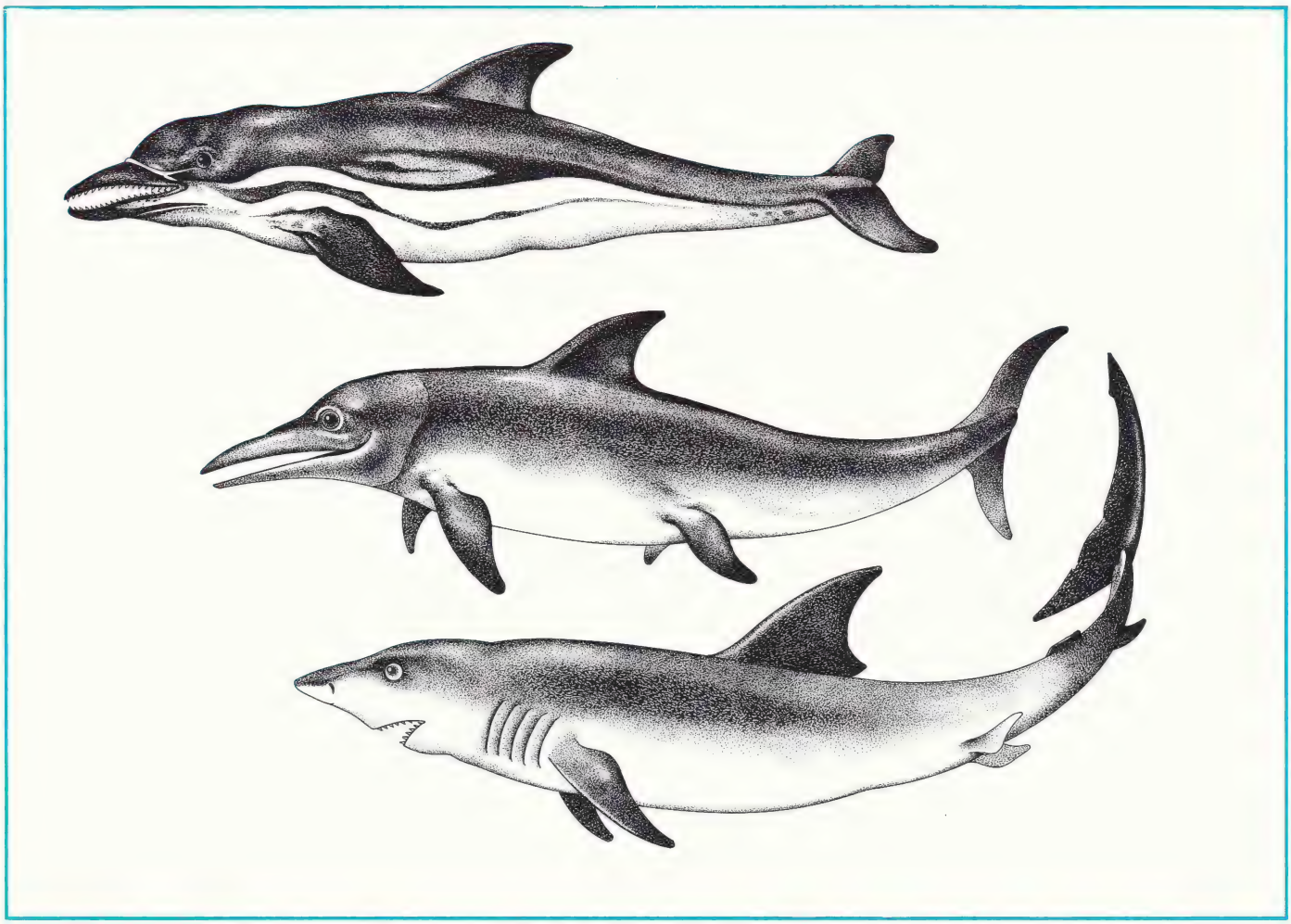
Fischähnliche Reptilien

Vor einigen Jahren wurde im US-Staat Nevada eine riesige Ansammlung fossiler Überreste von Seelebewesen entdeckt. Später entstand am Fundort ein Nationalpark. Wie bei den Überbleibseln der Metoposaurier von Neumexiko handelte es sich auch hier um eine Art „Friedhof", in dem sich ungeheuere Mengen einzelner Lebewesen auf Grund irgendwelcher Naturereignisse in einem begrenzten Lebensraum zusammengedrängt hatten. Einige der Tierfossilien waren allerdings noch viel eigenartiger als die in Neumexiko gefundenen. Es handelte sich nämlich um Reptilien, die wie Fische gebaut waren und sogar Flossen besaßen. Unter ihnen gab es auch Riesenexemplare von ca. 9 m Länge.

Wir sprachen bereits von der „Reptilienexplosion". Jetzt werden wir sehen, wie sich die höchstentwickelten und erstaunlichsten Gruppen vom Reptilienstamm gelöst haben. Eine dieser Gruppen war die Ordnung der *Ichthyosaurier* oder *Fischechsen.* Sie gehören zu den „Seedrachen" (wie sie im 19. Jahrhundert genannt wurden, als ihre versteinerten Überreste zum ersten Mal entdeckt wurden). Noch heute ist es den Wissenschaftlern unklar, wie sich diese Fischreptilien entwickelt haben, da es keine Fossilien aus der Übergangsperiode gibt. Es wird aber vermutet, daß ihre Ursprünge sehr weit zurückliegen, vielleicht sogar vor dem Perm, und daß sie von den Kotylosauriern abstammen, genau wie ihre amphibischen Vorfahren.

Die Fischreptilien in der Trias waren noch ziemlich primitiv; sie erreichten ihren Höhepunkt erst im Jura. Trotzdem hatten sie sich schon überall auf der Erde ausgebreitet. In Schichtungen aus der unteren Trias gibt es keine Spuren von ihnen, aber in denjenigen aus der mittleren Trias gibt es reiche Fossilienfunde, und zwar in verschiedenen Erdteilen wie Nordamerika, Europa, Südwestasien und den Sundainseln. Besonders ergiebige Fundorte waren die Schichtungen aus der mittleren Trias auf der Inselgruppe von Spitzbergen. Es ist verblüffend, daß sich hier einst ein warmes Meer befunden hatte, das von Reptilien mit glatter, glänzender Haut bevölkert war, die Haien und Delphinen ähnelten. Dieses Meer erstreckte sich, so weit das Auge reichte, und zwar in einer Gegend, die jetzt von Gletschern beherrscht wird.

Der Mixosaurus, ein Ichthyosaurus von bescheidenen Dimensionen in der mittleren Trias; daneben der kleine Placodus, ein Meeresreptil aus derselben Periode, das mit den Nothosauriern verwandt war.



Die Anpassung der Fischreptilien an das Wasser

Wie die Anpassung an dieselbe Umwelt (das offene Meer) ähnliche Formen hervorbringt, wird hier an drei sehr unterschiedlichen Tierklassen gezeigt. Oben: ein Delphin (Säugetier); Mitte: ein Ichthyosaurus (Reptil); unten: ein Hai (Knorpelfisch). Die Ichthyosaurier, die hier dargestellt sind, gehörten nicht zur Trias, sondern zum Jura, in dem sie ihre vollkommenste Form erreichten.

Um die Entwicklung der Kotylosaurier zu Fischreptilien besser zu verstehen, wollen wir sie mit der heutigen Ordnung der *Wale (Cetacea)* vergleichen. Zu dieser Ordnung gehören auch die Delphine. Betrachten wir einen *Delphin* in unseren heutigen Meeren. Sein Körper läuft spitz zu; sein Kopf ist lang und schmal. Flossen und Schwanz entsprechen denen eines Fisches. Dennoch ist der Delphin ein Säugetier und Lungenatmer, auch wenn er sich an das Leben im Wasser schon seit langem so vollkommen angepaßt hat, daß er genau wie ein Fisch reagiert.

Auch den Ichthyosauriern gelang es, sich vollkommen anzupassen. Diese Lebewesen verfügten über einen ähnlich spitz zulaufenden Körper, einen langen, dünnen Kopf und den Schwanz und die Flossen eines Fisches. Auf erstaunliche Weise entstehen unter gleichen Umweltbedingungen zwei so verschiedene Tierklassen wie die Reptilien und die Säugetiere, obwohl beide ursprünglich von Fischen abstammen.

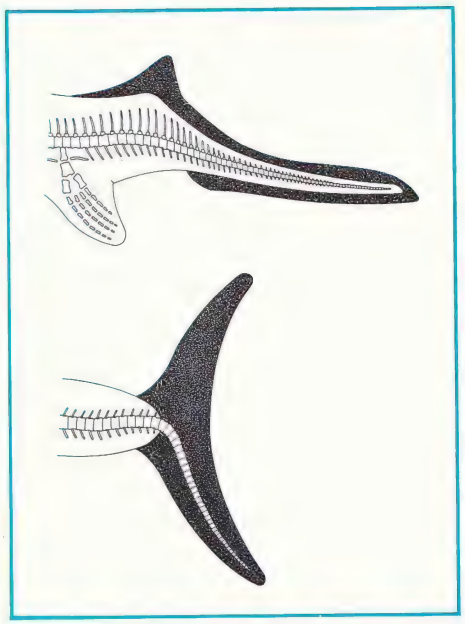
Unter den Ichthyosauriern in der Trias war der *Mixosaurus* am häufigsten anzutreffen. Er war ein bewegliches Lebewesen von 1–2 m Länge. Obwohl klein an Größe, liegt seine Bedeutung darin, daß er als bekanntester seiner Ordnung uns am besten einen Eindruck vom Aufbau der Fischreptilien in der mittleren Trias vermitteln kann. Der Mixosaurus besaß fünf Flossen. Vier von ihnen entsprachen den vier umgewandelten

Extremitäten. Die fünfte, größer und ohne ein Knochengerüst, befand sich auf seinem Rücken. Demgegenüber verfügen die Delphine, wie die meisten heutigen Wale, nur über ein Paar Flossen; die Hinterflossen sind bei ihnen verschwunden. Der Schwanz des Mixosaurus war lang und spitz und von einer gewissen Stelle an nach unten geneigt; oberhalb dieser Stelle trug er eine dreieckige Flosse. Es ist der nach unten weisende *hypozerke Schwanz,* den wir schon von den Ichthyostegen kennen.

Auf Grund des Körperbaus des Mixosaurus und seiner Zeitgenossen nimmt man an, daß sich die Gliedmaßen bei diesen Tieren in Stabilisatoren umwandelten und daß der eigentliche Antrieb vom Schwanz ausging. Da aber der hypozerke Schwanz des Mixosaurus immer noch keinen idealen Antrieb erbrachte, mußte er sich weiterentwickeln. Im unerbittlichen Prozeß der natürlichen Auslese, der vor keiner Lebensform haltmacht, sollten nur diejenigen Ichthyosaurier erhalten bleiben, deren Schwanz zweckmäßiger gebogen war und die eine besser entwickelte dreieckige Flosse hatten. Die anderen waren dazu verurteilt, auszusterben.

Dies hat sehr einfache Gründe. Je stärker sich die Schwanzflosse nach unten neigte und die obere Flosse sich entwickelte, desto stärker näherte sich das Lebewesen der idealen Antriebsform der Flosse (aus zwei gleichförmigen Teilen), wie wir sie bei heutigen Knochenfischen kennen. Mit einem solchen Schwanz waren die Tiere viel beweglicher.

Die Umbildung betraf die gesamte Gruppe der Fischechsen. Arten mit weniger entwickelten Schwanzabschnitten fielen damit der Vergessenheit anheim. Im Jura hatten alle Fischreptilien große, vertikale, symmetrische Schwänze, die sie zu großartigen Schwimmern machten.



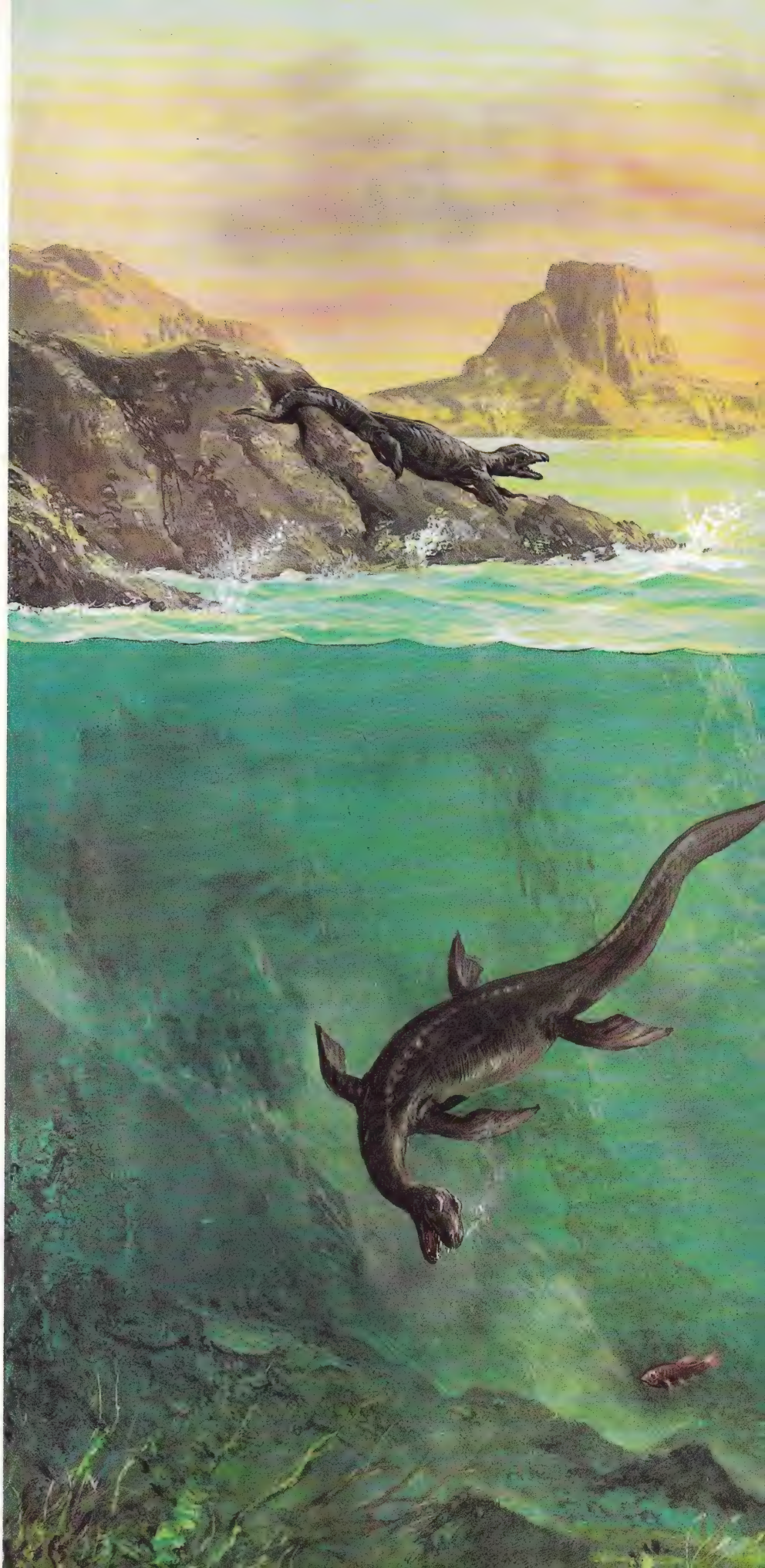
Die Seedrachen

Im Perm bemächtigten sich die Reptilien schnell der verschiedenen ökologischen Nischen auf dem Festland und in den Binnengewässern. Wir werden jetzt sehen, wie sie in der Trias ein noch größeres Gebiet eroberten, nämlich das offene Meer. Während sie sich die Erde untertan machten, taten die Reptilien all das, was viel später die Säugetiere tun sollten. Die Ichthyosaurier besetzten die gleiche ökologische Nische wie heute die Wale, z. B. der Delphin und der Mörderwal. Andere Reptilien ließen sich entlang den Küsten nieder und verbrachten ihr Leben teils im Wasser, teils auf dem Festland. In ihrer Welt entsprachen sie unseren Seehunden. Die Wissenschaftler nennen sie Nothosaurier.

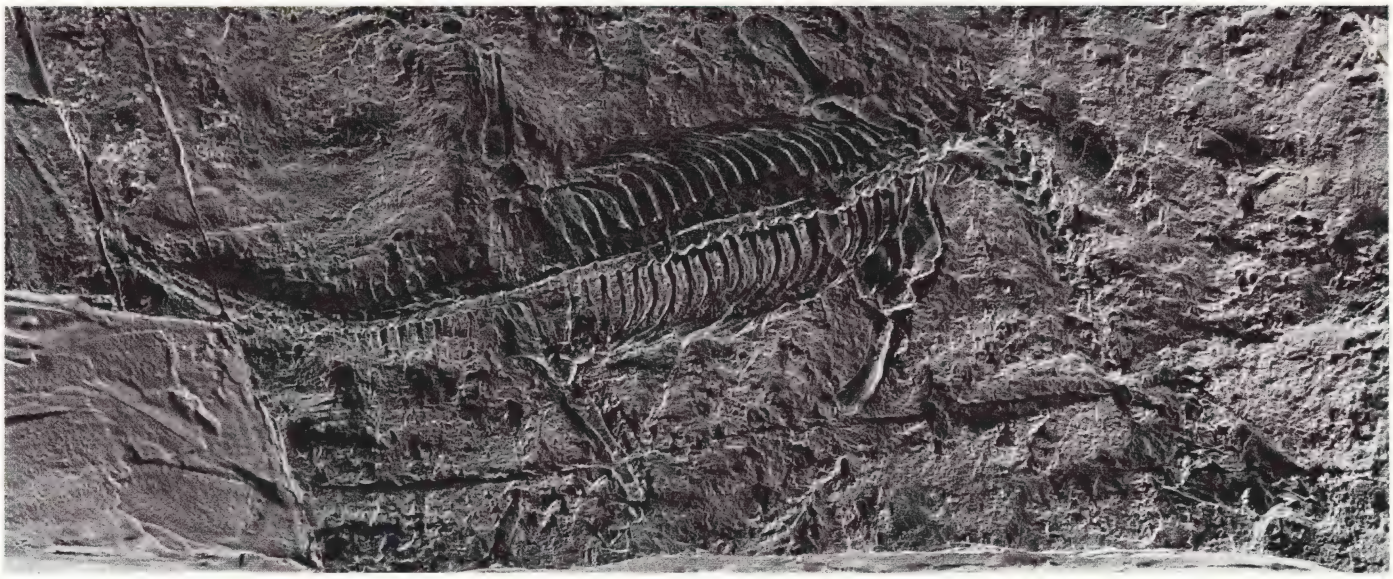
Die *Nothosaurier* stellten das Zwischenglied zwischen den Proterosauriern im Perm und den *Plesiosauriern* dar, einer Gruppe von *Seedrachen,* die sich im Jura als Herrscher der Meere erwiesen. Ihre gewaltigen Knochen wurden, zusammen mit denen der Ichthyosaurier, in Schichten aus dem Jura und aus der Kreidezeit gefunden. Die Nothosaurier waren meist von bescheidener Größe. Manche Arten wie der *Pachypleurosaurus* oder der *Lariosaurus* wurden nicht einmal 50 cm groß. Es gab allerdings andere, wie den 3 m langen *Ceresiosaurus,* die eine nennenswertere Größe aufweisen konnten.

Da sie sich niemals vollständig an ein Leben im Wasser angepaßt hatten, ähnelte der Körper der Nothosaurier dem der heutigen Eidechse, obwohl der Hals im Verhältnis viel länger und die Gliedmaßen viel kürzer waren. Die Füße hatten sich nur geringfügig umgebildet und waren nicht zu vollkommenen Flossen geworden wie bei den Ichthyosauriern.

Oben: Detaillierte Zeichnung der Schwänze von Ichthyosauriern in Trias und Jura, an denen die Entwicklung des Reptilienschwanzes dargestellt wird. Im ersten Beispiel ist die Wirbelsäule nur leicht gewölbt und die Flosse darüber nur wenig ausgebildet. Im zweiten Beispiel biegt sich die Wirbelsäule stark nach unten und ist von einer sehr ausgeprägten Schwanzflosse gekrönt; hier nimmt die Schwanzflosse eine symmetrische Gestalt an, vergleichbar mit den Schwänzen der heutigen Wale. Es gibt jedoch einen Unterschied: Der Schwanz der Wale liegt waagrecht, während der der Ichthyosaurier senkrecht wie der Schwanz der heutigen Knochenfische angesetzt ist.



Darstellung einer Gruppe von Zeresiosauriern. Diese Tiere lebten hauptsächlich im Wasser. Sie erreichten eine Länge von 3 m.



Ein seltenes Exemplar eines Nothosauriers, des Lariosaurus balsamii, eines Reptils von 40 bis 50 cm Länge, das in der Nähe des Comer Sees in Italien gefunden wurde.

Stellen wir uns diese Tiere vor, wie sie die meiste Zeit ihres Lebens ausgestreckt auf den Felsen liegen, immer bereit, ins Wasser zu springen, sobald sich ein Beutetier zeigt. Dies ist das klassische Bild von Reptilien, die, wie heute die Alligatoren, ihr Leben gleichermaßen auf dem Land und im Wasser verbrachten.

Die tropischen Küsten wurden auch in der Trias von größeren Wasserreptilien frequentiert. Es waren die 4 m langen *Plakodonten,* die der körperlichen Erscheinung nach dem heutigen Walroß ähnelten. Sie ernährten sich ausschließlich von Weichtieren, die sie mit ihren Vorderzähnen vom Meeresboden pflückten und dann samt Schale mit ihren kräftigen Zahnplatten zermalmten. Manche von ihnen waren auf dem Rücken stark gepanzert. Wie die Nothosaurier stammten auch sie von den permischen Proterosauriern ab und waren ebenfalls am Ende der Trias bereits ausgestorben.

Die Vorfahren der Eidechsen und der Schlangen

Während die Meere, die damals die heutigen Erdteile Europa, Nordafrika und Südwestasien bedeckten, von Nothosauriern und Plakodonten bevölkert waren, entwickelten sich viele neue Arten und Formen, die von den Proterosauriern abstammten. Unter diesen sehr sonderbaren Reptilien war der allererstaunlichste der *Tanystropheus,* der in der mittleren Trias in Europa und Asien lebte. Bei diesem Tier scheint die Evolution zu etwas übertriebenen Formen geführt zu haben. Sein äußerst langer Hals war dreieinhalbmal so lang wie sein Rumpf und wurde durch insgesamt 12 lange und dünne Wirbelknochen gestützt.

Lange Zeit hindurch haben diese Wirbelknochen viele Wissenschaftler verwirrt. Als sie zum ersten Mal entdeckt wurden, befanden sich keine anderen Knochen an der Fundstelle, und man nahm an, daß es sich um die Beinknochen einer großen Echse handele, die sehr lange, weiche Beine besessen habe. Nicht einmal die korrekte Erklärung eines Wissenschaftlers, der sie für Rückenwirbel hielt, konnte diese irrtümliche Annahme aus der Welt schaffen.

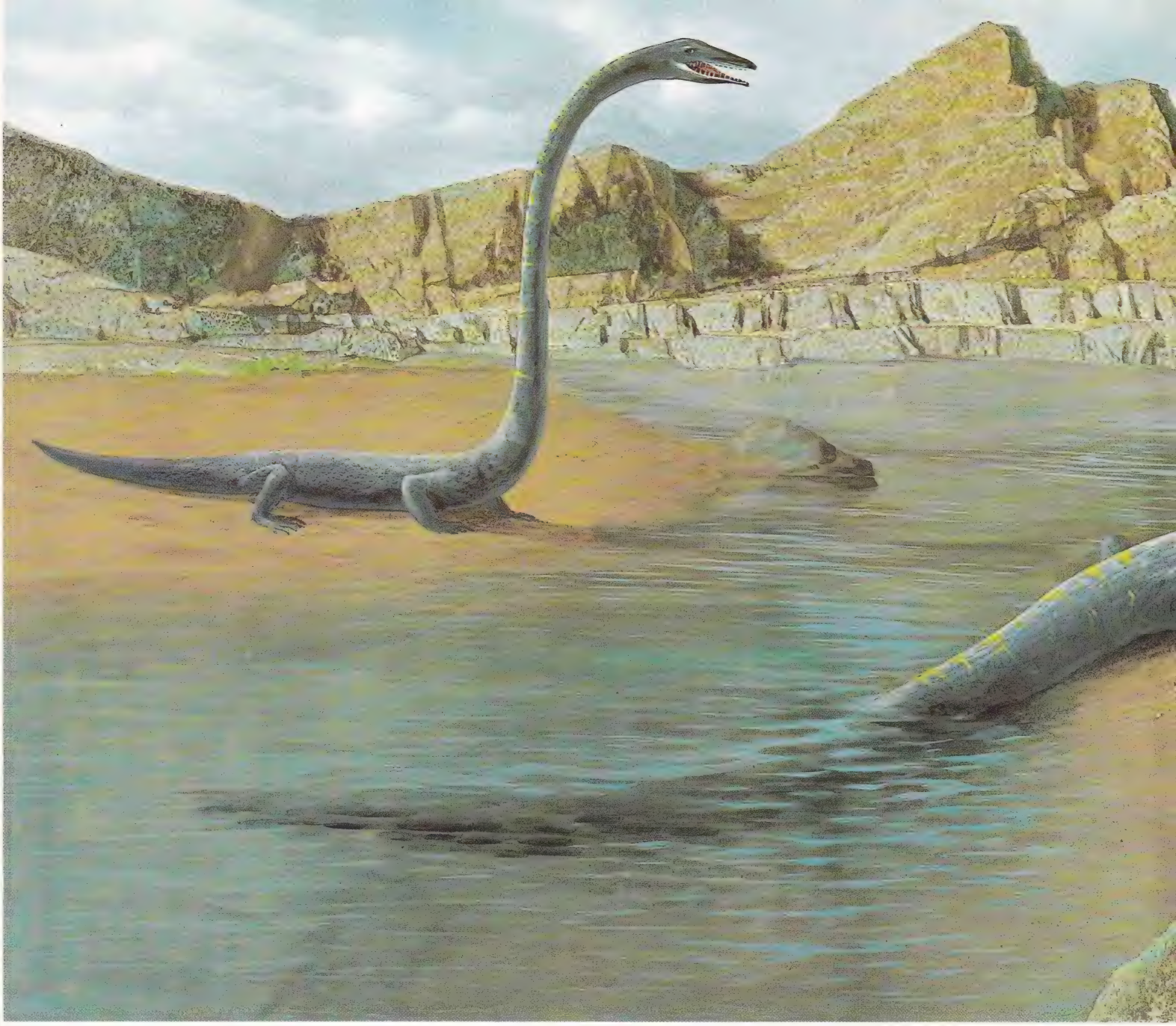
Das war vor 150 Jahren. Viel später, im Jahre 1880, fand man in der Lombardei (Italien) in der Nähe von Besano ein unvollständiges und

Zwei Versteinerungen eines kleinen Nothosauriers aus der mittleren Trias, des Pachypleurosaurus. Dieses Tier war 40 bis 50 cm lang und ans Wasser gebunden, obwohl diese Anpassung nicht so weit fortgeschritten war.

ziemlich beschädigtes, aber sehr ähnliches Reptilienskelett, das für die Versteinerung eines fliegenden Lebewesens gehalten wurde. Diese Vermutung gründete sich auf die langen Rückenwirbelknochen, die man zerbrochen im Schiefer liegend fand und falsch deutete; man glaubte, nämlich, daß sich dereinst eine Flughaut darüber gespannt habe. Die Fachleute waren überzeugt, einen Pterodactylus vor sich zu haben, einen der bekannten Flugsaurier aus dem Jura und der Kreidezeit.

Diese Erklärung schien das Problem, das der Tanystropheus darstellte, gelöst zu haben, und es wurde ein halbes Jahrhundert lang kein Wort mehr darüber verloren – bis im Jahre 1929 zwei vollständige Skelette im Schweizer Kanton Tessin gefunden wurden, welche die Wissenschaftler endlich mit der Wahrheit konfrontierten.

Der Tanystropheus war 4,50 m lang, hatte einen kleinen, zierlichen Kopf und einen Schwanz, der fast so lang war wie der Hals. Seine langen



Füße waren eidechsenähnlich. Zu Lebzeiten muß er wie eine „Schlange mit Füßen" ausgesehen haben. Er hielt sich meist im Küstenbereich auf, war aber dennoch eher ein Landlebewesen.

Der Stamm der Proterosaurier verzweigte sich, wie wir sehen, in manche erstaunliche Richtungen und zeigte lange Zeit eine außerordentliche Vitalität. Trotzdem starben ihre Nachfolger und der ganze Hauptstamm im Erdmittelalter aus.

Andererseits gab es eine Gruppe großer, eidechsenähnlicher Reptilien, die von den Kotylosauriern abstammten und erst am Ende des Perms erschienen, deren Nachfolger sich über die ganze Erde verteilten und Jahrmillionen überdauerten. Die Nachkommen dieser Lebewesen sind uns wohlbekannt: Es handelt sich um Eidechsen, Warane, Leguane und die heutigen Schlangen. Sie alle stammen vom *Eosuchus* ab.

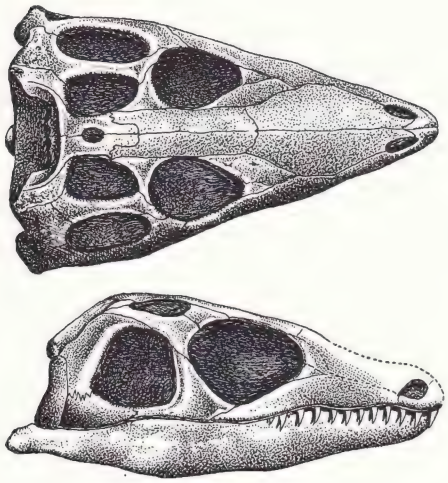
Links: Darstellung des Tanystropheus. Sein riesiger Hals war ihm beim Fangen von Wassertieren behilflich, während er selbst am Ufer blieb.

Unten: Fossil des Tanystropheus longobardicus. Dieser Proterosaurier aus der Trias hatte einen extrem langen Hals und einen langen Schwanz und war ungefähr 4,5 m lang.

Tuatera, ein lebendes Fossil

Gegen Ende des Perms verbreitete sich in den Karruwüsten ein kleines Reptil von nur einigen Zentimetern Länge, dessen Struktur noch sehr primitiv war. Die Wissenschaftler nannten es *Youngina.* Im damaligen Afrika, von riesenhaften Pflanzenfressern und Säbelzahnraubtieren beherrscht, muß dieses winzige Wesen ziemlich unbedeutend gewesen sein. Dennoch wurde die Youngina der Ururahn der Eosuchusgruppe, die für mehrere Jahrmillionen bis zu einer Zeit von vor 60 Millionen Jahren die Erde bevölkerte. Die Erinnerung an sie ist niemals erloschen. Von ihr stammen alle heute häufig vorkommenden Reptilien ab.

Ihre Nachfolger in der Trias vermehrten sich und wurden gleichzeitig immer größer. Manche lebten weiter in mehr oder weniger unfruchtbaren Trockengebieten und entwickelten ein außerordentliches Lauftalent. Vielleicht benutzten sie dazu nur die Hinterbeine, so daß sie



Oben: Schädel einer Youngina, von oben und von der Seite gesehen. Dieses winzige Reptil (es war nur wenige Zentimeter lang) lebte gegen Ende des Perms in Südafrika. Von ihm stammen die heutigen Sauromorphen (Krokodile, Brückenechsen und Schuppenechsen) ab.

Rechts: Ein wunderschönes Askeptosaurusskelett aus dem Voralpengebiet in der Lombardei, Italien. Der Askeptosaurus glich einer großen Echse, hatte amphibische Lebensgewohnheiten und war ein wildes Raubtier.

aufrecht gingen. Andere Nachkömmlinge paßten sich an ein Leben im Wasser an bzw. wurden amphibienähnlich und ernährten sich von Fischen. Ein geglücktes Beispiel einer solchen Anpassung ist der *Askeptosaurus,* eine große Echse, 2 m lang, mit kräftigen Zähnen und einem langgezogenen, krokodilähnlichen „Gesicht".

Mehrere Millionen Jahre später, gegen Ende der Trias, entwickelten sich die ersten echten Saurier aus dem Eosuchus. Es entstanden Arten, die längst verschwunden sind. Im Perm ging jedoch eine bestimmte Gruppe von Reptilien aus ihnen hervor, die Echsen ähnelten und die wir

als *Rhynchozephalen* kennen. Die Gruppe war zwar klein, aber wissenschaftlich von großer Bedeutung, da es einen ihrer Vertreter noch heute gibt, der viele Merkmale gemeinsam mit seinen Vorfahren aus der Trias und dem Jura besitzt. Dieses lebende Fossil ist die *Tuatera* oder *Brückenechse* (Sphenodon punctatus) in Neuseeland. Eine Untersuchung ihrer archaischen Eigenschaften ermöglichte es den Wissenschaftlern, viele Eigentümlichkeiten des mesozoischen Reptils zu verstehen.

Auf den ersten Blick gleicht die Brückenechse etwa einer großen, ziemlich unbeholfenen Eidechse. Obwohl sie 70 cm lang ist, werden ihre primitiven Züge sofort sichtbar, wenn man den Aufbau ihres Skeletts u. ihrer Organe untersucht. An dieser Stelle brauchen wir uns nur an ein besonders auffälliges Merkmal zu erinnern: ihr drittes Auge, das sich noch heute in nahezu funktionsfähiger Verfassung befindet. Bei der Brückenechse besitzt dieses sog. *Pinealauge* (von dem Rudimente bei manchen Sauriern festgestellt wurden) noch Reste von Netzhaut und Linse und ist recht häufig, besonders bei jüngeren Exemplaren, äußerlich sichtbar. So kann man hier an einem lebendigen Beispiel jene Laune der Natur wiederfinden, die sich erstmals bei den silurischen Agnathen zeigte.

Die Tuatera (Sphenodon punctatus) oder Brückenechse aus Neuseeland. Die Tuatera, 70 cm lang, ist ein Reptil, das äußerlich den Agamen ähnelt. Sie besitzt jedoch sehr primitive anatomische Merkmale. Bei ihr sind noch viele Eigentümlichkeiten der Tiere, die in der Trias lebten, erhalten geblieben; sie wird darum auch als lebendes Fossil bezeichnet. Unter anderem verfügt die Brückenechse über ein drittes Auge mit Spuren von Netzhaut und Linse.

Schädel eines Cynognathus, eines typischen Vertreters der Cynodontia aus der unteren und mittleren Trias in Südafrika. Seine Zähne, die denen von Säugetieren entsprechen, waren in Schneide-, Eck- und Hintereckzähne unterteilt.

Das Schicksal der säugetierähnlichen Reptilien in der Trias

Die Suche nach neuen Biotopen löste eine nicht enden wollende Entwicklung neuer, seltsamer Arten unter den Reptilien aus. Zur selben Zeit erlitten die immer noch existierenden (geschichtlich) älteren Gruppen unter ihnen, die Kotylosaurier und die Therapsiden, unterschiedliche Schicksale. Die Kotylosaurier hatten sich schon gegen Ende des Perms auf dem Abstieg befunden; jetzt wurden sie zunehmend bedeutungsloser und verschwanden schließlich ganz von der Szene. Den Therapsiden gelang es noch für eine Weile, sich mehr oder minder erfolgreich zu behaupten, obwohl auch sie dazu bestimmt waren, im Jura auszusterben.

Die unbeholfenen Dicynodontia mit ihren hervorstehenden Eckzähnen und ihrem Schnabel hielten sich noch bis zur Mitte der Trias. In der unteren Trias hatte sich der *Lystrosaurus* in denjenigen Gebieten der Erde, die wir heute Südafrika, Ostafrika, Süd- und Ostasien nennen würden, ausgebreitet und stieß bis zur Antarktis vor. Ein anderer Dicynodontiavertreter der Karru, *Kannemeyeria,* wanderte nach Südamerika und Osteuropa aus. Gegen Ende der mittleren Trias aber war der Abstieg der Dicynodontia vollendet.

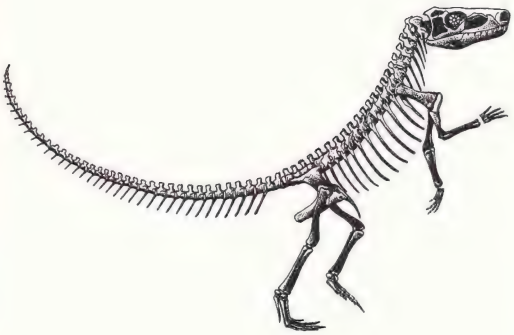
Die Therapsiden befanden sich in tiefgreifender Umwandlung. Es mag sonderbar scheinen, aber die schlanken, säbelzähnigen Gorgonopsiden, die Millionen von Jahren Herren der Steppen gewesen waren, überlebten das Perm nicht. Sie verschwanden spurlos vom Erdboden. Das gleiche geschah mit ihren Zeitgenossen, den Therocephali. An ihre Stelle trat ein neuer Zweig, die *Cynodontia.* Sie erschienen im oberen Perm. Die Cynodontia umfaßten Lebewesen, die in vielen wesentlichen Eigenschaften Säugetieren sehr stark ähnelten. Unter anderem hatten diese Tiere Zähne von unterschiedlichem Bau und unterschiedlicher Funktion, darunter Schneidezähne, Eckzähne und „Hintereckzähne" (wobei die letzteren den prämolaren und molaren Backenzähnen bei den Säugetieren entsprachen).

Die lange Entwicklung vom Reptil zum Säugetier war jetzt erst zur Hälfte durchschritten. Die Tigerreptilien, nämlich die Gorgonopsiden, wurden von behaarten, warmblütigen Lebewesen wie Säugetieren und Vögeln verdrängt. Die Form des Brustkorbs der Cynodontia lieferte uns bedeutende Daten über die Atmung und erlaubte weitere Schlußfolge-

Darstellung eines Cynognathus in seiner natürlichen Umgebung. Dieses Reptil, das den Säugetieren schon sehr nahekommt, erreichte eine Länge von 1,8 m.

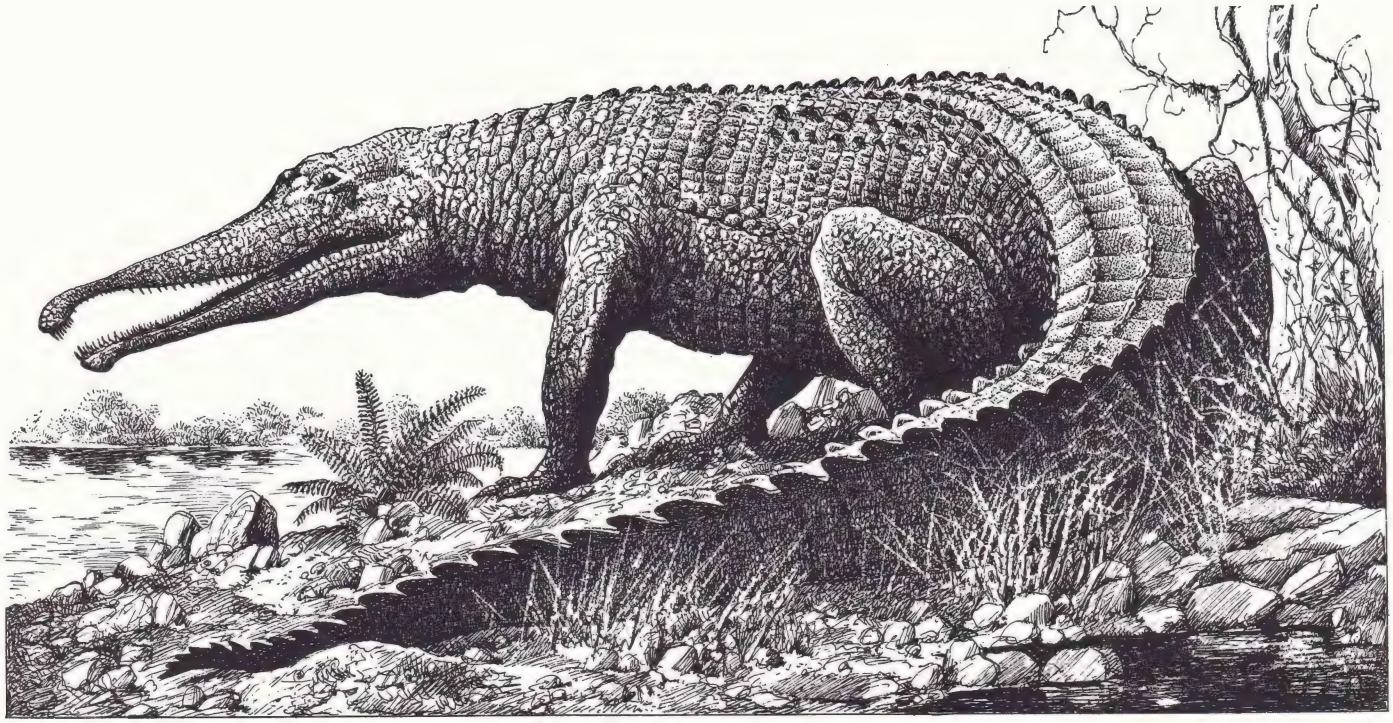
rungen über die Körpertemperatur. Ähnliche Schlußfolgerungen ergaben sich aus bestimmten Oberflächenmerkmalen des Schädels. Sie zeigten, daß diese Tiere zeitlebens reizempfindliche Haare im Gesicht, außerdem Haare an den anderen Körperteilen besaßen. Die Zahnstruktur von kleineren Cynodontia zeigte schließlich, daß sie Nahrung aufgenommen hatten, die von ihren Müttern vorgekaut worden war: eine Form des Säugens, wenn man so will.

Die große Karrusteppe, welche im Perm von seltsamen, primitiven Reptilien bevölkert war, hatte sich jetzt erstaunlich verändert. An ihren Flüssen hielten sich zwar noch Lystrosaurier auf, und Dicynodontia aller Arten durchstreiften die spärlichen Waldgebiete. An diesen selben Flüssen und in diesen selben Wäldern tummelten sich zwischen ihnen jedoch bereits Lebewesen, die behaart, beweglich und äußerst wachsam waren. Einige von ihnen waren wilde Fleischfresser, andere Allesfresser, die sich mit den Lystrosauriern um die Wasserpflanzen an den Flußufern stritten. Sie erinnern uns an die Tiere, die wir täglich in den Wäldern und Lichtungen unserer heutigen Welt antreffen. Trotzdem sind sie immer noch Reptilien. Aber die lange Entwicklung vom Reptil zum Säugetier geht nun ihrer Vollendung entgegen.



Oben: Skelett einer Euparkeria, eines schnellen, räuberischen Reptils mit schlankem, spitz zulaufendem Körper. Es lebte in der unteren Trias in Südafrika. Die Euparkeria war 90 cm lang und bewegte sich auf den Hinterbeinen fort. Ihre Erscheinung auf der Bühne des Lebens leitete ein neues Zeitalter ein: das Zeitalter der Archosaurier, der „Herrscherreptilien".

Rechts: Rekonstruktion einiger Euparkerien in ihrer Umwelt. Im Hintergrund befindet sich der Cynognathus, der in derselben Periode lebte und den Säugetieren nahestand.



Die Herrscherreptilien treten auf den Plan

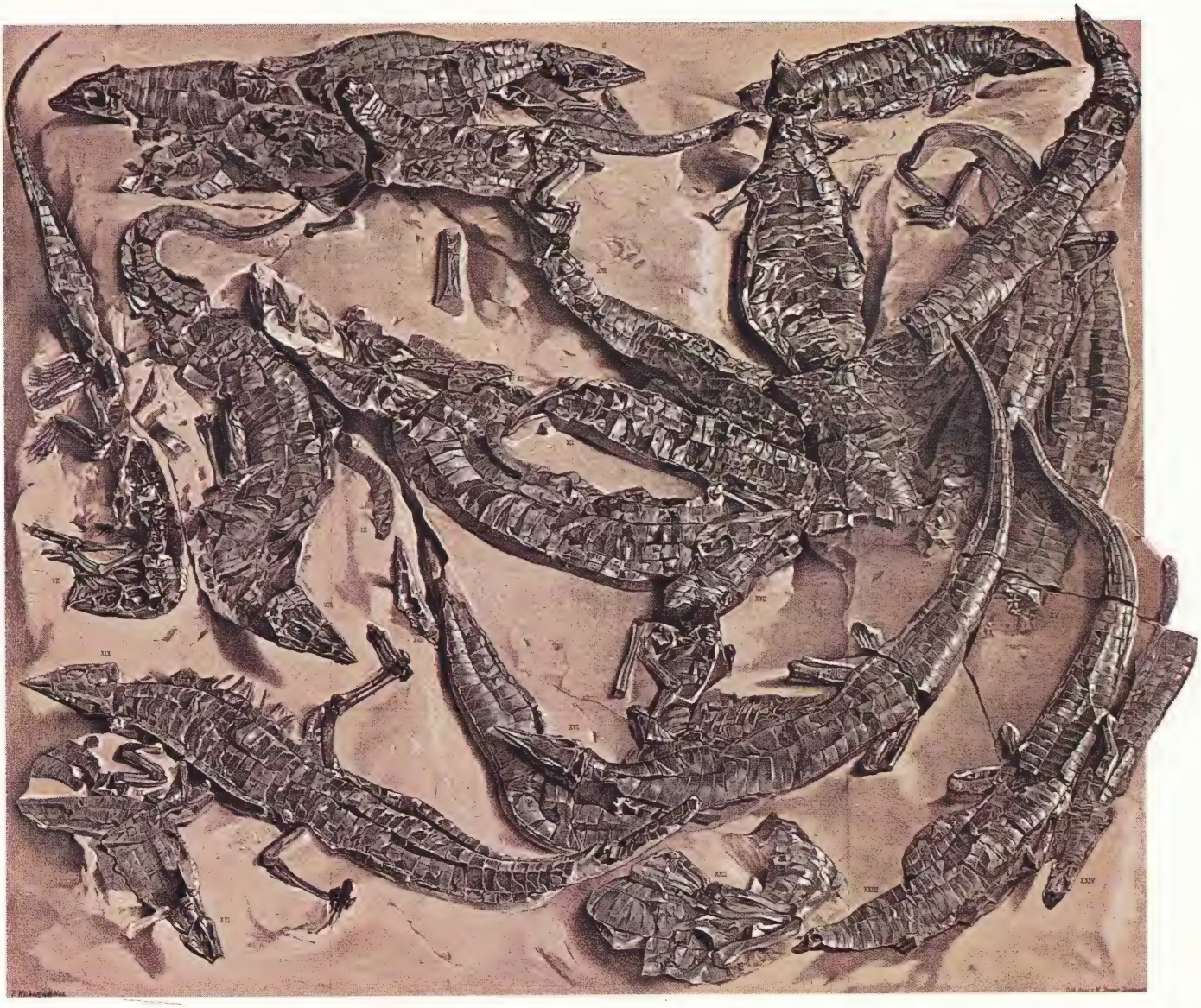
Aus dem roten Sand der Karrusteppe sind ausführliche Hinweise über die verlorene Welt der Therapsiden am Anfang der mittleren Trias zutage getreten. Aufgedeckt wurden auch Einzelheiten über andere Reptilien, die neben den Therapsiden lebten und die in der Geschichte des Lebens von großer Bedeutung sind. Ein typisches Beispiel für diese Tiere ist die *Euparkeria* der unteren Trias. Ihr Skelett ähnelte dem eines Dinosauriers, der sich auf den Hinterbeinen aufrecht hält. Eine solche Ähnlichkeit ist kein Zufall; denn aus der Euparkeria entwickelten sich viele der eindrucksvollen Dinosaurier, unter ihnen der riesige Zweifüßer Tyrannosaurus und der 20 m lange, 40 t schwere Brontosaurus.

Die Euparkeria war 90 cm lang und sah eher wie ein Alligator als wie eine Echse aus. Ihre Vorderbeine waren, im Vergleich zu den Hinterbeinen, nicht so kurz wie bei dem zweifüßigen Dinosaurus; trotzdem bewegte sie sich ganz sicher auf den Hinterbeinen. Offensichtlich war diese neue Fähigkeit sehr vorteilhaft, da die Euparkeria trotz ihrer kleinen Dimensionen ein wildes Raubier war. Dank ihrer zweifüßigen Körperhaltung konnte sie sich beim Angriff sehr schnell bewegen; die langsameren Therapsiden entkamen nur selten. Natürlich war ein Tier dieser Art in seiner natürlichen Umgebung mehr als bevorzugt; sein Fortbestand war dadurch gesichert.

Euparkeria führt uns in eine neue Welt von Reptilien: die Welt der Alligatoren, der Dinosaurier und der Flugsaurier sowie (als Unterklasse) der Archosaurier oder „Herrscherreptilien". Auf die Euparkeria folgten diejenigen Lebewesen, die im Erdmittelalter das Festland bevölkern und alle anderen Lebewesen von den Amphibien bis zu den primitiven Ursäugern unterwerfen sollten.

Die Amphibien waren bald so gut wie ausgerottet, und die ersten Säugetiere hielten sich im Zeitalter der Dinosaurier zunächst versteckt.

Rutiodon, ein riesenhaftes Raubtier der Flüsse in der oberen Trias. Dieses Tier war ein Vertreter der Phytosaurier, Reptilien, die Krokodilen ähnelten, aber nicht mit ihnen verwandt waren.



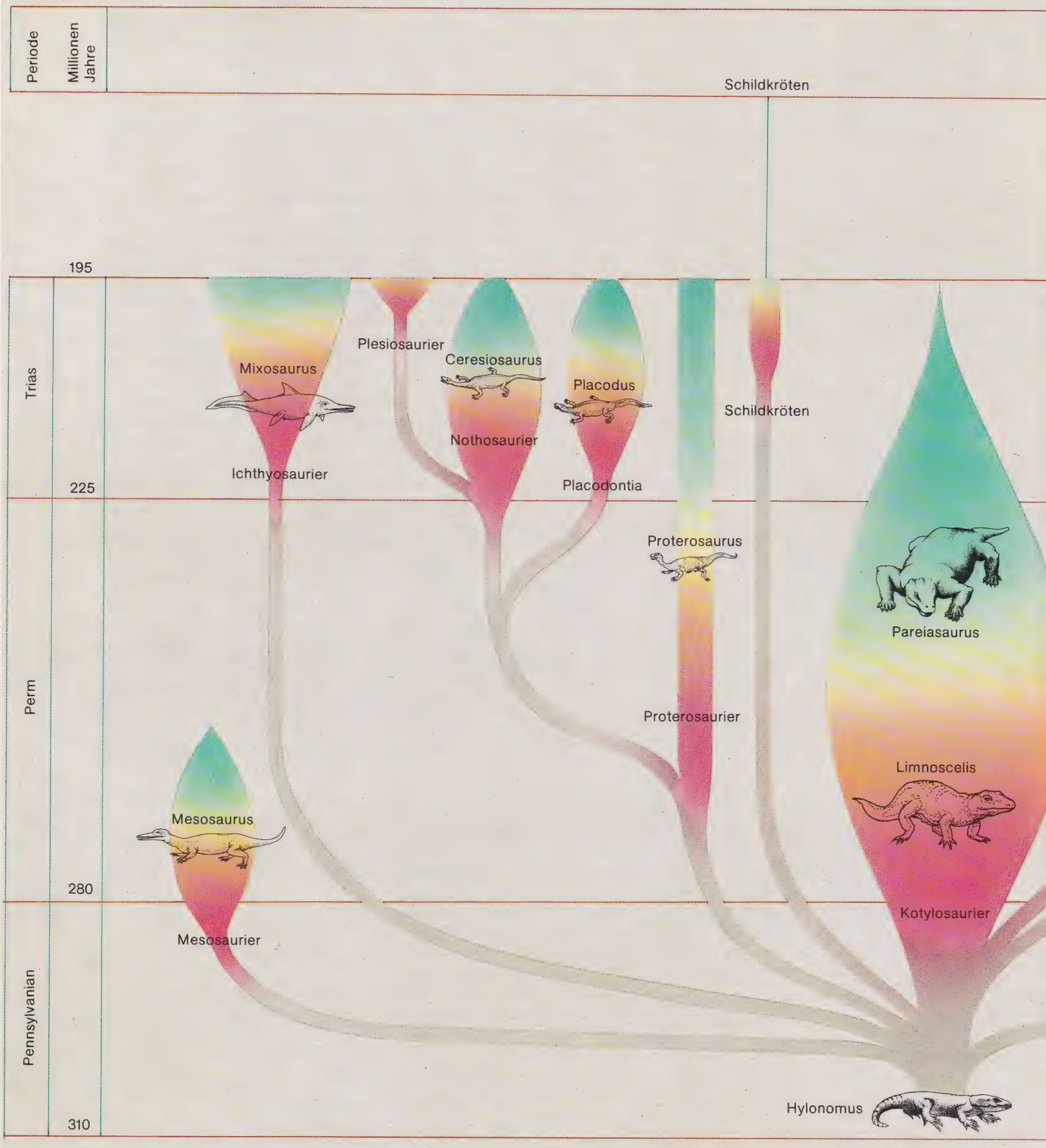
Zu dieser Zeit entwickelten sich noch ausschließlich kleinere Arten, die, ökologisch gesehen, bedeutungslos waren.

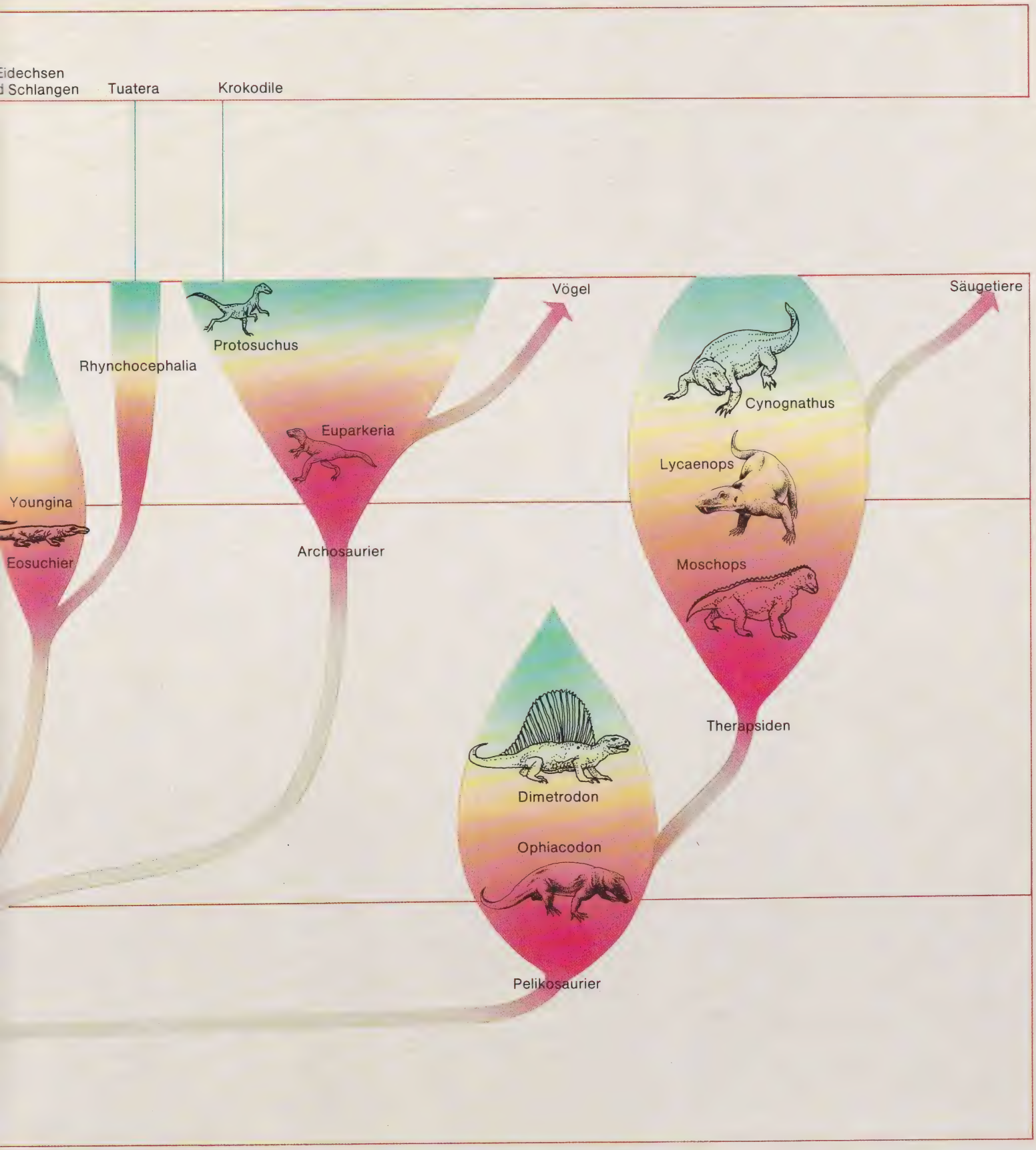
Die Archosaurier entwickelten sich explosionsartig im unteren Perm. Es entstand die Ordnung der *Thekodontier (Grubenzähner)*, die sich aus den permischen Kotylosauriern entwickelt hatten. Euparkeria ist einer der ersten Vertreter dieser Ordnung, zu der Reptilien mit erstaunlichen Entwicklungsmöglichkeiten gehörten; denn sie waren in der Lage, auf den Hinterbeinen zu gehen und zu laufen. Diese Fähigkeit sollte ihnen bald die Alleinherrschaft über die ganze Erde sichern.

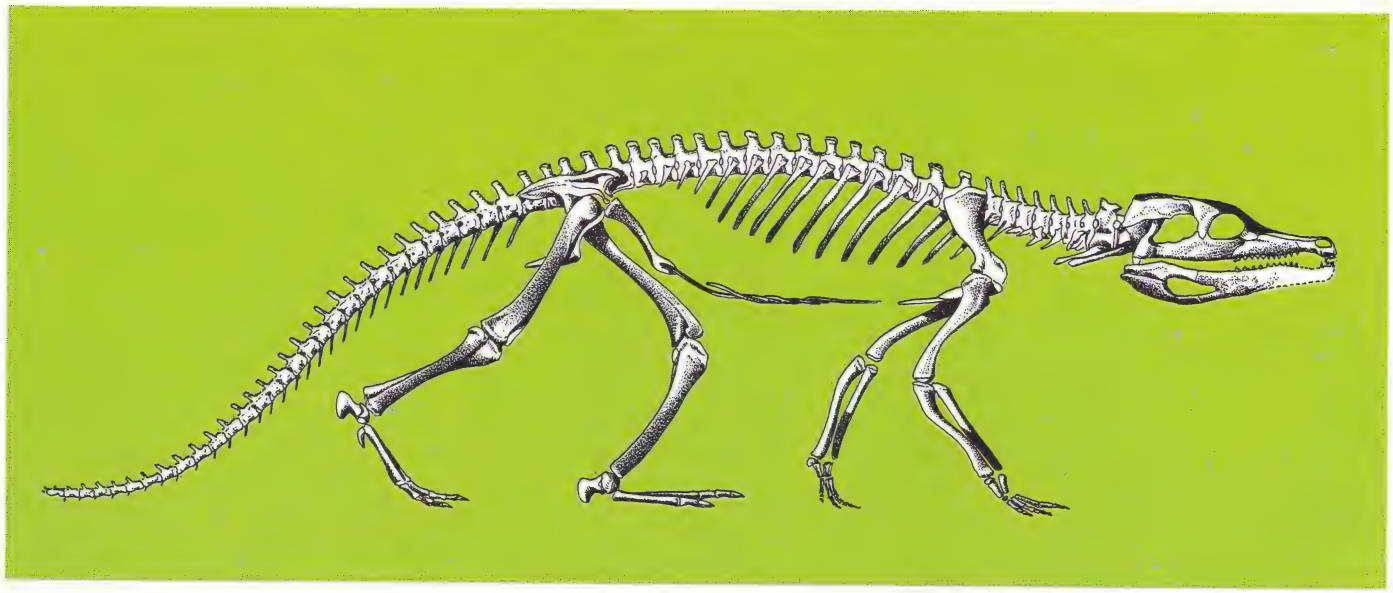
Natürlich wurden nicht alle Thekodontier Zweifüßer. Viele von ihnen blieben weiterhin Vierfüßer und waren schwer gepanzert, wie z. B. die *Aetosaurier (Adlerechsen)* der oberen Trias, die als Fossilien in Deutschland entdeckt wurden. Diese Tiere waren 90 cm lang und wie manche anderen vor ihnen gepanzert wie Krieger im Mittelalter.

Oben: Ein eindrucksvolles Zeugnis aus der Vergangenheit. Auf dieser Steintafel kann man nicht weniger als 24 vollständige Aetosaurier, kleine, gut gepanzerte Thekodontier, zählen. Die Steinplatte wurde in Schichtungen aus der oberen Trias in Deutschland gefunden.

Abbildung auf den beiden folgenden Seiten: Die Entwicklung der Reptilien gegen Ende des Paläozoikums und am Anfang des Mesozoikums.


Periode
Millionen Jahre
Schildkröten
195
Trias
Mixosaurus
Plesiosaurier
Ceresiosaurus
Placodus
Schildkröten
Nothosaurier
Ichthyosaurier
225
Placodontia
Perm
Proterosaurus
Pareiasaurus
Proterosaurier
Limnoscelis
Mesosaurus
280
Kotylosaurier
Mesosaurier
Pennsylvanian
Hylonomus
310


Eidechsen
d Schlangen
Tuatera
Krokodile
Vögel
Säugetiere
Protosuchus
Rhynchocephalia
Euparkeria
Cynognathus
Lycaenops
Youngina
Eosuchier
Archosaurier
Moschops
Therapsiden
Dimetrodon
Ophiacodon
Pelikosaurier



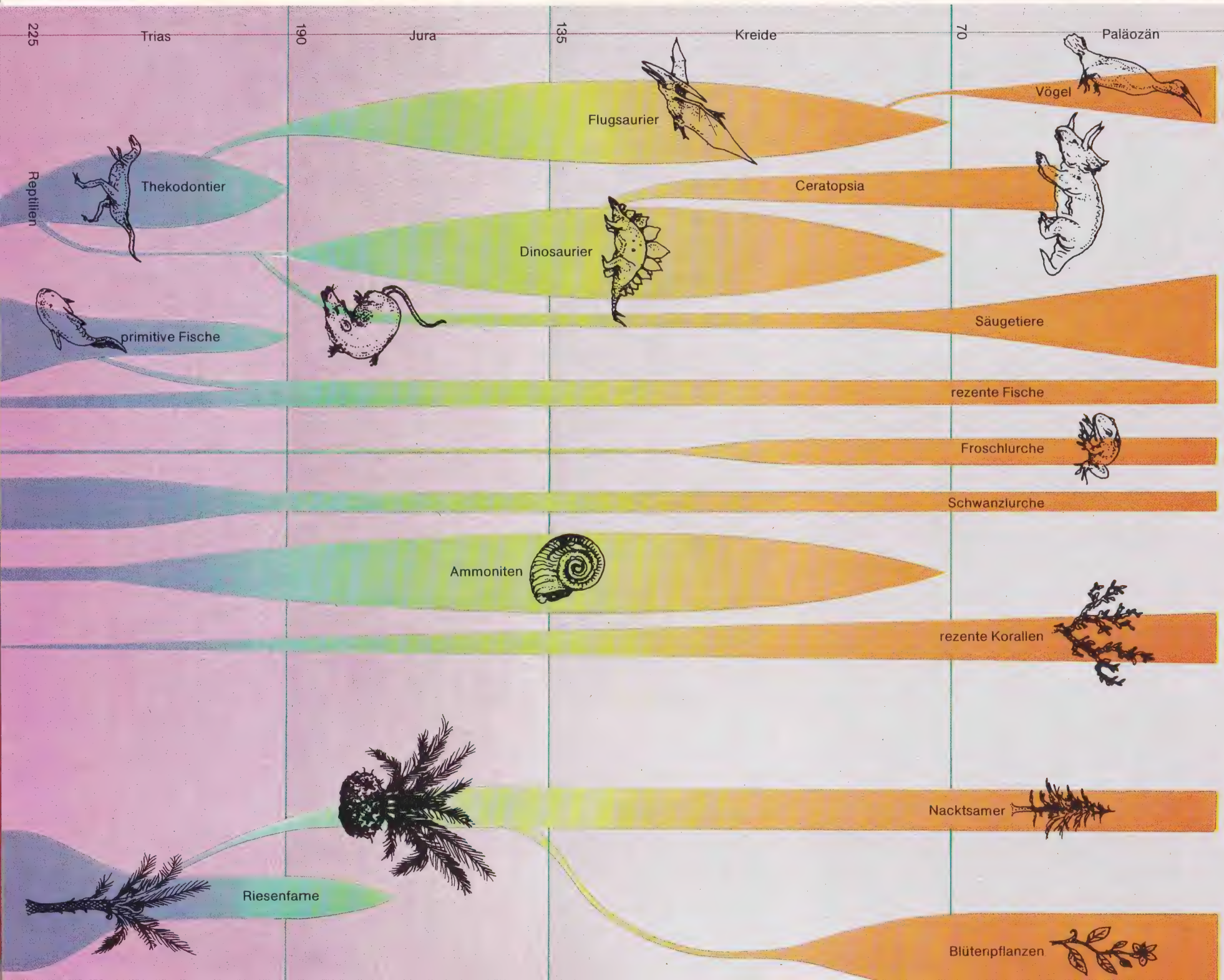
Skelett eines Protosuchus, des „Ahnherrn" der Krokodile. Der Protosuchus war 90 cm lang. Seine Fossilienreste wurden in den Schichtungen aus der oberen Trias in Arizona gefunden.

Die Thekodontier breiteten sich überall aus. Wo sie auch hinkamen, setzten sie sich als Raubtierherrscher in ihrem Bereich durch. Manche von ihnen konnten auf Bäume klettern, wo sie kleinere Reptilien erbeuteten, die sich auf die oberen Äste zu retten versuchten. Eine andere Gruppe ließ sich in den Flüssen und Sümpfen nieder. Aus ihnen gingen die *Phytosaurier* hervor, riesige amphibische Raubtiere, die äußerlich den heutigen Krokodilen und Alligatoren stark ähnelten. In der Welt der oberen Trias besetzten die Phytosaurier die gleiche ökologische Nische, in der heute das Krokodil zu finden ist. Sie hatten ein krokodilähnliches Gebiß, aus scharfen Zähnen bestehend, und einen länglichen Körper mit einem starken Panzer. Ihre Nasenöffnungen waren nach hinten auf einen Höcker zwischen den Augen verlagert, so daß sie unter Wasser tauchen konnten, ohne daß ihre Atmung behindert wurde. Die Phytosaurier waren in Europa, Indien und Nordamerika zu Hause.

Die Phytosaurier waren nun nicht, wie man vielleicht annehmen könnte, die Vorfahren der heutigen Krokodile. Diese Raubtiere unserer tropischen Flüsse entwickelten sich vielmehr aus der Unterordnung Protosuchus in der oberen Trias. Die Protosuchusgruppe sollte sich mit der Zeit viel weiter verzweigen als die Gruppe der Phytosaurier. Der Urahn des Krokodils, der *Protosuchus,* war ein 90 cm langer, gepanzerter Vierbeiner, der in Schichtungen aus der Trias in Arizona entdeckt wurde. Er war damals noch imstande, auf dem trockenen Land umherzulaufen, da wegen der langen Beine sein Körper ziemlich weit vom Erdboden entfernt war. Später eignete sich seine Nachkommenschaft Eigenschaften an, die denen der Phytosaurier ähnlich waren.

All diese Tatsachen mögen interessant sein, aber noch wichtiger ist für unsere Geschichte im Augenblick die rapide Entwicklung einiger Thekodontier in Richtung auf die Dinosaurier. Diese Entwicklung fand in der Trias statt, und am Ende dieser Periode hatten sich Millionen und Abermillionen von Dinosauriern über die ganze Erde verbreitet, bis unser Planet völlig von ihnen beherrscht wurde.

Das Nilkrokodil (Crocodilus niloticus), ein riesiges Reptil von heute, das über 6 m lang wird und in den Flüssen Afrikas beheimatet ist. Es ernährt sich vorzugsweise von Säugetieren und stellt auch eine ernste Gefahr für den Menschen dar. Die Aufnahme links oben zeigt ein Krokodilauge.


225
Trias
190
Jura
135
Kreide
70
Paläozän
Reptilien
Thekodontier
Flugsaurier
Vögel
Ceratopsia
Dinosaurier
primitive Fische
Säugetiere
rezente Fische
Froschlurche
Schwanzlurche
Ammoniten
rezente Korallen
Nacktsamer
Riesenfarne
Blütenpflanzen

Die Entdeckung der Dinosaurier

Seltsame Fährten im Tal des Connecticut River

An einem schönen Herbsttag im Jahre 1802 machte ein Farmer namens Pliny Moody beim Pflügen seiner Felder in der Nähe von South Hadley, Massachusetts (USA), eine erstaunliche Entdeckung. Zufällig traf sein Blick auf einen Felsbrocken, der gerade vom Pflug umgestoßen worden war. Er erkannte zu seiner Verblüffung auf dem Stein den klaren Abdruck von Fußspuren. Diese Spuren waren ziemlich seltsam. Sie zeigten drei Zehen, die in Krallen endeten, und sahen aus wie die Spuren, die Vögel hinterlassen, wenn sie über Schlamm oder weichen Sand laufen. Statt dessen aber schienen sie in den Stein eingraviert zu sein, was dem guten Moody fast unglaublich vorkam.

In South Hadley wurde über diesen Fund viel geredet, bis man schließlich eine Erklärung dafür gefunden hatte: Man vermutete, daß die Spuren aus der Zeit der großen Sintflut stammen würden und daß es sich um die Fußspuren des Raben handele, den Noah ausgeschickt hatte, um trockenes Land zu suchen.

In Wirklichkeit kamen durch diesen spektakulären Fund die Fährten von Dinosauriern aus grauer Vorzeit ans Licht, die sich aufrecht auf ihren Hinterbeinen fortbewegten. Es ist die erste dokumentarisch belegte Entdeckung von Dinosaurierüberresten auf dem amerikanischen Kontinent.

Pliny Moodys aufsehenerregendem Fund folgten bald weitere Funde. Dreizehige Fußspuren aller Art und Größe wurden in beträchtlichen Mengen überall im Tal des Connecticut River gefunden, der zum größten Teil durch den Staat von Massachusetts fließt. In den Hügeln um dieses Tal gibt es Formationen von Sandsteinschichten (hartgewordenem Sand), die eine dunkelrote Farbe aufweisen. Oft ließ sich dieser Sandstein in Platten aufteilen. Dann konnte man mit etwas Geduld die Platten voneinander trennen und die Fährten auf diese Weise freilegen. Manche waren sehr klein und sahen aus, als stammten sie von Hühnern. Andere waren so groß, daß sie von Tieren stammen mußten, die größer waren als ein Vogel Strauß. Auf Grund dieser Funde mußte man die Theorie von Noahs Raben aufgeben. Dennoch gab es keine sicheren Beweise, und das ganze blieb vorläufig ungeklärt.

Das Mesozoikum oder Erdmittelalter, das in drei Perioden eingeteilt wird (Trias, Jura und Kreide), gilt als „Zeitalter der Dinosaurier". Tatsächlich begünstigte die sumpfige Umwelt das Wachstum und die Verbreitung von Reptilien, die gigantische Ausmaße erreichten und aus einer Vielfalt von Arten bestanden. Neben den Reptilien entwickelten sich zur selben Zeit Vögel und Säugetiere, während im Meer die heutigen Korallen entstanden. Im Pflanzenreich breiteten sich die Nadelbäume aus, und die ersten Blütenpflanzen traten auf.

Die Connecticut-Spuren werden als Vogelfährten „identifiziert“

Während die Felsen von Massachusetts alle diese ungeahnten Wunder zu Tage treten ließen, wurden 1818 in East Windsor, einer nahegelegenen kleinen Stadt in Connecticut, einige seltsame Knochen gefunden, die damals niemand identifizieren konnte. Wie sich später herausstellte, waren diese Knochen die ersten, die in Amerika mit Bestimmtheit einem Dinosaurier zugeschrieben werden konnten. Es handelte sich um die Knochen des *Anchisaurus,* wie man diesen Dinosaurier viel später nannte. Sie stammten aus derselben Zeit wie die seltsamen Fährten, von denen etwas weiter nördlich immer neue Abdrücke gefunden wurden. Damals jedoch dachte niemand daran, die beiden Funde in Zusammenhang zu bringen.

Im Jahre 1835 kam ein damals sehr angesehener Wissenschaftler namens Hitchcock in das Tal des Connecticut River. Er interessierte sich sehr für die Abdrücke im roten Sandstein und meinte sagen zu können, daß sie von Vögeln herrührten, die auf dem Gestein umherspaziert seien, als das Gestein noch feuchter Sand gewesen sei. In einer wissenschaftlichen Dokumentation schrieb Hitchcock, daß er die Fährten urzeitlicher Vögel von unbekannter Art gefunden habe. Seine Beschreibung war so enthusiastisch, daß die Connecticut-Fährten als die angeblich ältesten Vogelfährten überhaupt Berühmtheit erlangten. Erst viele Jahre später wurde ihre tatsächliche Herkunft aufgeklärt.

Hitchcocks Fehler war jedoch wohl verständlich, wenn wir bedenken, wie die Fährten aussahen (sie ähnelten tatsächlich Vogelfährten). Hinzu kommt, daß der Dinosaurier damals noch ein völlig unbekanntes Lebewesen war. Es gab nicht einmal die Bezeichnung „Dinosaurier“. In der Zwischenzeit aber machte man in Bereichen, die für das Studium der größeren Reptilien entscheidend waren, eine Reihe von wesentlichen Entdeckungen. Zwar blieben diese Beobachtungen den damaligen Wissenschaftlern zunächst verborgen, erhielten aber in den folgenden Jahrzehnten für die Paläontologie grundlegende Bedeutung.

Unten rechts: Ein wunderschöner Dinosaurierfußabdruck im Sandstein von Massachusetts. Obwohl er ganz frisch anmutet, ist dieser Abdruck doch rund 200 Millionen Jahre alt.

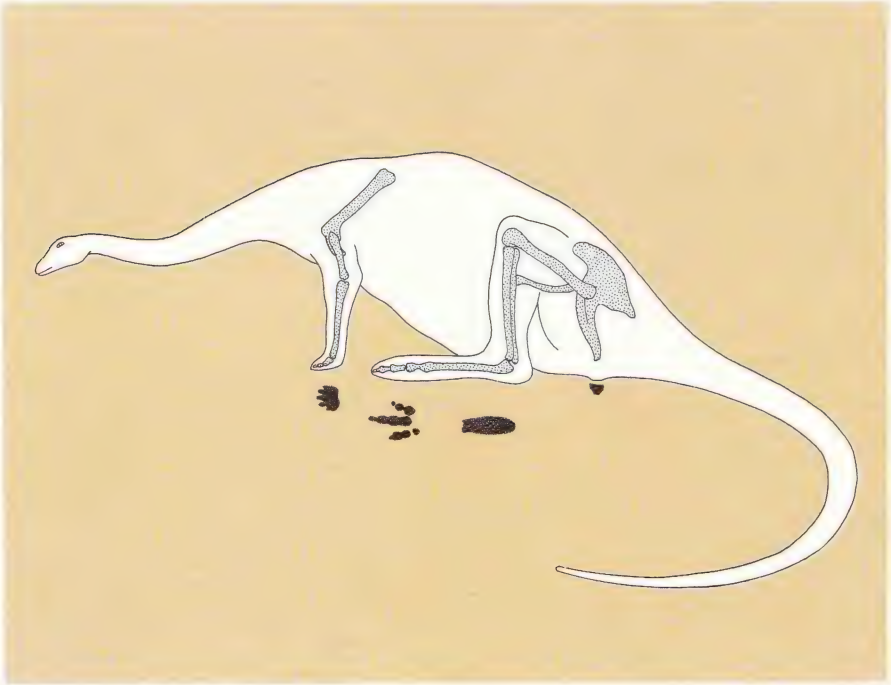
Unten links: Darstellung einer Sandsteinplatte aus Massachusetts mit den Fußspuren verschiedener Dinosaurier. Aus diesen Fußspuren schloß man, daß die Tiere, von denen sie stammten, meistens aufrecht auf den Hinterbeinen gingen.

Die Dinosaurier von Connecticut

Die die Neugier der Wissenschaftler erregenden Sandsteinfelsen hatten sich in der zweiten Hälfte der Trias gebildet und werden auf ein Alter von rund 200 Millionen Jahre geschätzt. Zu dieser Zeit befand sich in der Gegend, wo heute der Connecticut River strömt, ein Trockengebiet, in dem Steppen und Wüsten mit spärlichen Wäldern aus Nadelbäumen, Farnen und Zykadeen wechselten. Über einen weiten Landstrich, der wahrscheinlich dem Delta eines großen Flusses entsprach, gab es flache, sandige Strecken, wo das Wasser träge dahinströmte und schließlich versickerte. In einer solchen ungestalteten Landschaft, zwischen Wasser und Festland, tummelten sich die Dinosaurier zu Tausenden, vielleicht zu Millionen.

Wie wir heute wissen, waren viele *Dinosaurier* Raubtiere. Sie hatten einen schlanken Körper mit einem ziemlich langen Hals, der einen verhältnismäßig kleinen Kopf trug. Sie waren ausgesprochene Zweifüßer, da sie sich nicht etwa hüpfend nach Känguruhart voranbewegten, sondern fast wie Menschen, einen Fuß vor den anderen setzend. Die Dinosaurier dieser Gegend waren im allgemeinen ziemlich klein, obwohl es unter ihnen auch einige Riesen wie den *Eubrontes* gab, der dreizehige Fußspuren von 37 cm Länge hinterlassen hat und dessen Schritte etwa einen Meter maßen.

Wir wissen nicht mit Sicherheit, warum diese Tiere die Küstengebiete in so großer Zahl bewohnten. Da viele von ihnen wilde Raubtiere waren, nimmt man an, daß sie häufig im Wasser Jagd auf Beute machten. Ihre Füße hinterließen klare Abdrücke in dem feuchten, sandigen Schlamm. Vielfach läßt sich an den Fußabdrücken auch ablesen, ob das Tier langsam und ungestört dahinzog oder ob es auf der Flucht vor einem Verfolger war. Als der Schlamm von der unerbittlichen Sonne ausgetrocknet wurde, erstarrten die Abdrücke, als seien sie von einem Bildhauer eingemeißelt worden. Später wurden die uralten Fährten durch von Flüssen angeschwemmten Schlamm und Schutt bedeckt und



Manche Fährten, die im Connecticut River Valley gefunden wurden, stammen von Dinosauriern, die sich dort hingehockt hatten. Aus der Form der Abdrücke konnte man die jeweilige Körperhaltung der Tiere rekonstruieren. Hier wird ein Dinosaurier im Profil gezeigt, die Vorderbeine voll ausgestreckt und aufrecht, die Hinterbeine in Sitzstellung. Die Abdrücke stammen von der linken Körperseite des Tiers: der Vorderfuß, wie eine kleine Hand, der große Hinterfuß mit den langen Mittelfußknochen und der Abdruck des unteren Beckenendes.

So etwa mag die Landschaft von Massachusetts (heute das Gebiet des Connecticut River Valley) vor rund 200 Millionen Jahren ausgesehen haben. In den Schlamm- und Sandzonen der seenreichen Küstengebiete tummelten sich die Dinosaurier in Herden. Dabei hinterließen sie ihre Fußabdrücke auf dem weichen, feuchten Boden, der sich später in harten Sandstein verwandelte und auf diese Weise die Spuren bis in unsere Zeit bewahrt hat.

haben dadurch die Zeiten überdauert.

Die Gesteinsschichtungen, die bei ihrer Entdeckung so viel Verwirrung hervorgerufen hatten, warfen eine Reihe von Fragen auf, die wir jetzt beantworten können. Wir wissen, wie diese Ablagerungen entstanden sind. Was die Gelehrten ursprünglich verwirrte, versetzte sie nun in Bewunderung. Die Gesteinstafeln verewigten selbst die sanftesten Spuren eines vorüberziehenden Dinosauriers. Man kann sogar genau sagen, auf welche Weise sich die Dinosaurier zur Ruhe niederhockten: Indem sie nämlich ihre Hinterfüße übereinanderlegten, während ihre Vorderfüße, kleinen Händen ähnlich, auf dem Boden ruhten; das ergab zwei zusätzliche Abdrücke.

Elefant oder Dinosaurier

Die „Fußspuren von Noahs Raben" wurden in Amerika am Anfang des letzten Jahrhunderts entdeckt. Zur gleichen Zeit befanden sich in Europa bereits echte Dinosaurierknochen in verschiedenen Sammlungen, ohne daß man sie allerdings als solche identifiziert hatte. Dies gilt besonders für England, wo es höchst beachtliche Ablagerungen der fossilen Überreste dieser gigantischen Reptilien gibt.

Der älteste Hinweis auf diese Knochen findet sich in einem Buch von Robert Plot, einem Universitätsprofessor in Oxford, aus dem Jahre 1677. In diesem Buch wird ein gigantischer versteinerter Oberschenkelknochen erwähnt, der bei Ausgrabungen in einem Steinbruch zutage gebracht wurde. Der Knochen war so mächtig, daß er als „Überbleibsel

Die Zähne eines Iguanodons, die 1822 von Frau Mantell in Cuckfield (Sussex) in England gefunden wurden. Diese Zähne lagen in einem Haufen zerkleinerter Steine, die zur Straßenausbesserung benutzt werden sollten. Heute befinden sie sich im Britischen Museum in London.

eines Elefanten, der in der römischen Besatzungszeit nach Britannien gebracht worden war" gedeutet wurde. Heute weiß niemand mehr, was aus diesem Oberschenkelknochen geworden ist. Der Beschreibung nach kann er nur zu einem Dinosaurier von beträchtlicher Größe gehört haben.

Viel später, irgendwann zwischen 1755 und 1757, wurden drei riesige Rückenwirbel und ein gewaltiger gebrochener Oberschenkelknochen aus einem Steinbruch in der Nähe von Oxford ausgegraben. Obwohl unvollständig, hatte der Oberschenkelknochen die beachtliche Länge von 73 cm. Er stammte, wie wir heute wissen, von einem *Cetiosaurus,* einem entfernten Verwandten des allgemein bekannten Brontosaurus.

Mehr als ein halbes Jahrhundert später war man immer noch nicht weitergekommen. Erst im Jahre 1822 wurde die Geschichte der Dinosaurier zum ersten Mal als solche richtig zur Kenntnis genommen. Eines Tages entdeckte die Frau des englischen Arztes und Hobbygeologen Gideon Mantell aus der Kleinstadt Cuckfield in Sussex in einem Haufen Steinschutt einige Zähne. Als sie ihrem Mann die Steinfragmente zeigte, die sie unterwegs gesammelt hatte, erkannte dieser sofort, daß er es hier mit einem außergewöhnlichen und bedeutsamen Fund zu tun hatte. Von Straßenarbeitern erfuhr er, daß das Gestein aus einem Steinbruch etwas nördlich von Cuckfield stammte. Dort fand Gideon Mantell einige kräftige, braune Knochen, die in den Kalksteinschichten eingebettet gewesen waren.

Die Wiedergeburt des Iguanodons

Obwohl die Schichten, die im Steinbruch von Cuckfield zutage lagen und von Mantell untersucht wurden, nicht so alt waren wie die Sandsteinschichten von Massachusetts, waren sie immerhin von einem beträchtlichen Alter: Es handelte sich um Sandstein aus der unteren Kreide, also aus einer Zeit vor rund 130 Millionen Jahren. Auch diese Schichten entstanden durch Ablagerungen im Zeitalter der Dinosaurier. Die Knochen, die sich darin befanden, hatten gewaltigen Pflanzenfresserreptilien gehört: den Iguanodonten, die in Herden die Sümpfe der Kreidezeit abgegrast hatten. Das *Iguanodon* besaß kräftige Hinterbeine und kleinere Vorderextremitäten, die Händen ähnelten. Genau wie die Massachusetts-Dinosaurier gingen auch sie aufrecht, ihren Kopf etwa 5 m über dem Erdboden tragend.

Die Bemühungen Gideon Mantells, aus den Knochenfunden ein Skelett zu rekonstruieren, scheiterten, da ihm die Knochen zu fremd waren und in zu geringer Anzahl vorlagen. Also schickte er seine Zähnesammlung an den damals bedeutendsten Paläontologen, den Franzosen Georges Cuvier. Die Antwort Cuviers, der die Meinung vertrat, daß die Zähne einem urzeitlichen Nashorn gehört hätten und durch Flußgewässer in irgendeine Steinhöhle der Kreidezeit hineingeschwemmt worden seien, war enttäuschend. Mantell wußte ganz genau, daß dies nicht stimmen konnte. Er entschloß sich deshalb, dem guten Cuvier auch die Knochenfunde zuzuschicken. Auch die zweite Antwort Cuviers war eine herbe Enttäuschung: Die gefundenen Knochen, so Cuvier, seien die eines Nilpferds gewesen; auch sie seien, wie die Zähne, durch Wasser an den Fundort befördert worden.

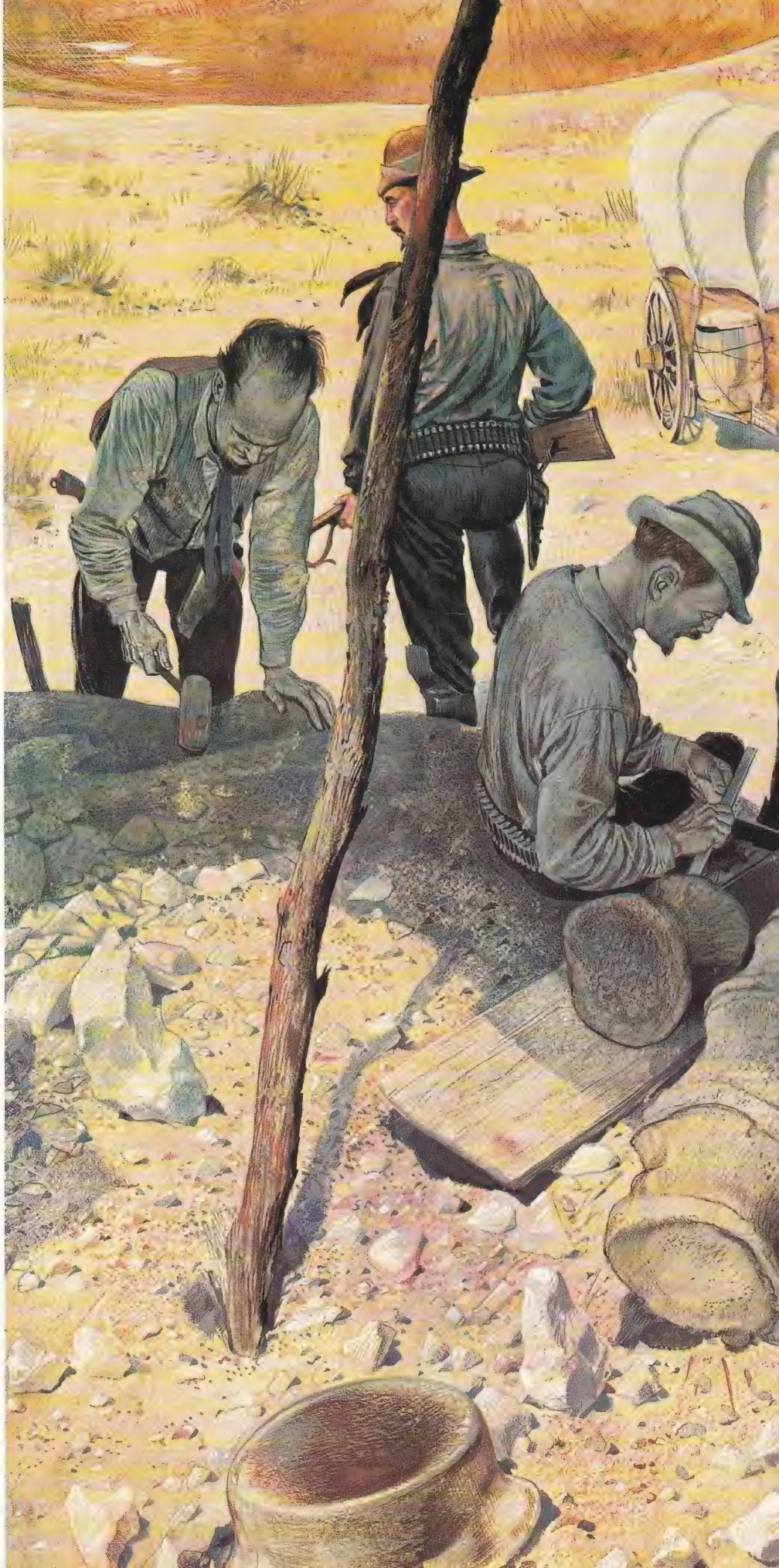
Schließlich wandte sich Mantell an den Direktor des Museums für Anatomie am Kolleg der Chirurgen in London. Der Kustos gab den eingeschickten Zahn zurück mit der Bemerkung, daß dieser eine frappante Ähnlichkeit mit den Zähnen des Leguans, einer großen

Der Leguan, ein Reptil von heute, dessen Zähne denen des Iguanodons ähneln. Wegen dieser Ähnlichkeit hielten Wissenschaftler um die Mitte des 19. Jahrhunderts das Iguanodon für eine große, vierbeinige Echse.

tropischen Echse, aufweise. Für Mantell war dies eine echte Überraschung: Die seltsamen Knochen stammten also nicht von einem Säugetier, sondern von einem Monsterreptil von unvorstellbarer Größe. 1825 veröffentlichte Mantell eine Beschreibung seines Fossilienfragments und gab diesem den Namen Iguanodon (wörtlich: „Leguanzahn"). Diese Bezeichnung wurde allgemein akzeptiert und wird auch heute noch verwendet.

Das Iguanodon und der Megalosaurus

In seiner Begeisterung über die von ihm gemachte Entdeckung versuchte Mantell mit Hilfe weiterer Knochenfunde aus anderen Steinbrüchen in der Cuckfieldgegend ein Iguanodon zu rekonstruieren. Heute kommen uns seine Ergebnisse wenig gelungen vor. Da damals kein Mensch ahnte, daß die großen Reptilien eines vergangenen Zeitalters aufrecht gingen, wurde das Iguanodon auf dem Bauch kriechend dargestellt. Es



Der berühmte Paläontologe Othniel C. Marsh mit seinen treuen „Kriegern" bei der Arbeit in den Schichtungen von Colorado. Im Jahre 1877 und in den Jahren unmittelbar darauf beschrieb Marsh die Brontosaurierknochen, die er gefunden hatte, und machte erste Versuche, diese Tiere zu rekonstruieren. Bald wurde der Brontosaurus berühmt und in allen wissenschaftlichen Berichten über Fossilien erwähnt.

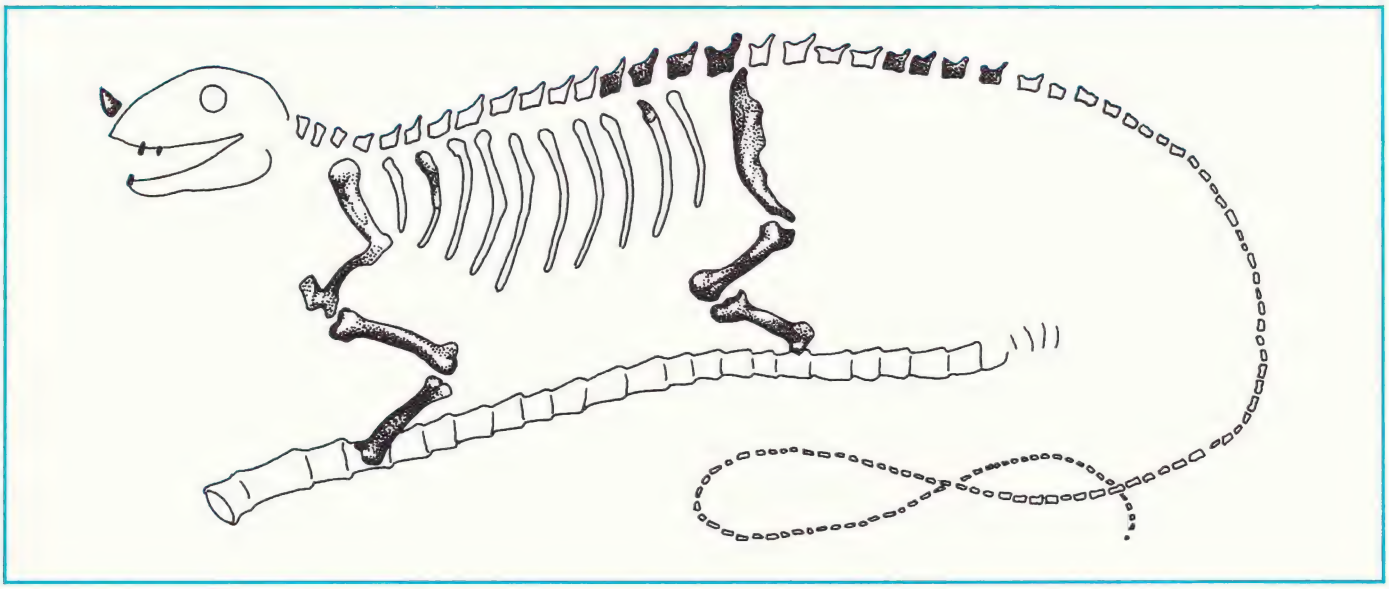
wurde zu einer riesenlangen Echse von wenigstens 21 m Länge, während das Iguanodon realiter höchstens 9 m lang war.

Zu dieser falschen Annahme gesellte sich ein weiterer Irrtum. Der „Daumen" der „Iguanodonhand" war nicht wie die anderen „Finger" gegliedert, sondern bestand aus einem kräftigen, nach unten geneigten Stachel, mit dem das Iguanodon sich gegen fleischfressende Dinosaurier verteidigt hatte. Mantell besaß einen dieser Stacheln, konnte aber nicht erkennen, in welcher Weise dieser mit den anderen Skeletteilen zusammenhing. Er nahm an, daß es sich um ein Horn handele, und setzte ihn auf die Nase des Reptils. Als er das ganze Gebilde fertig hatte, war das Iguanodon eine gehörnte Echse von übertriebener Größe.

Mittlerweile hatte man die Knochen eines anderen riesigen, furchteinflößenden Lebewesens in einem Steinbruch in der Nähe von Oxford gefunden. Diese waren so unvollständig erhalten, daß eine genaue Rekonstruktion unmöglich war. Unter diesen Knochen aber befand sich ein mit mehreren messerscharfen Zähnen gespickter Unterkiefer. Einer dieser Zähne – sehr gut erhalten – ähnelte einem Krummsäbel. Die Knochenstruktur deutete im übrigen auf ein Reptil hin. Den Zähnen nach zu urteilen, mußte das Tier eines der größten Raubtiere gewesen sein, das es jemals auf der Erde gab. Es erhielt die Bezeichnung *Megalosaurus* („Großechse") und wurde dem Iguanodon als angemessener Konkurrent für ebenbürtig erachtet, da nur ein riesiger Pflanzenfresser sich gegen einen riesigen Fleischfresser hätte verteidigen können.

Diese Riesenreptilien aus grauer Vorzeit erregten nicht nur wissenschaftliche, sondern auch sonst allgemeine Begeisterung. Obwohl nicht viel über sie bekannt und infolgedessen eine Rekonstruktion schwierig war, wurden sie oft in wildem Kampf dargestellt, vor einem Hintergrund von uralten Wäldern. Jahrzehntelang zeichnete man die *Megalosaurier* in dieser Weise: Als krokodilähnliche Tiere kämpften sie gegen die Iguanodonten, die wie gehörnte Leguane aussahen, und beide Konkurrenten schienen jeweils drauf und dran zu sein, einander in Stücke zu zerreißen. Man sprach von „urzeitlichen Monstern", ein Ausdruck, der noch heute benutzt wird, und zwar zu Unrecht, da die Lebewesen, auf die

Das Skelett eines Iguanodons, wie Mantell es aus den zusammengefügten Fossilienfunden nachzeichnete.



er angewendet wird, in vollkommener Harmonie mit ihrer Umwelt lebten, genau wie die Tiere heute.

Der dinosaurierreiche Mittelwesten

Im Jahre 1833 wurde ein weiterer Vertreter der Dinosaurier, der *Hylaeosaurus,* entdeckt. Auch er war ein Koloß und obendrein schwer gepanzert. Die Liste dieser ausgestorbenen Lebewesen wurde immer länger und abwechslungsreicher. Daher versuchte der prominente britische Anatom und Paläontologe Richard Owen (1804–1892) im Jahre 1841 Ordnung in die Systematik dieser Riesenechsen zu bringen und sie umfassend zu beschreiben. Er schlug den wissenschaftlichen Namen Dinosaurier als neue Bezeichnung für diese Riesenechsen vor, ein Name, der aus griechischen Wortelementen gebildet ist und etwa „Schreckensechse" bedeutet. Der Name fand sofort Anklang und wurde allgemein akzeptiert.

Eben zu dieser Zeit folgten die amerikanischen Pioniere auf ihren Planwagen den zerstreuten Pfaden des weiten Mittelwestens. Für viele von ihnen werden die zahlreichen Überreste von Dinosauriern, die sie auf ihrem weiten Weg nach dem fernen Kalifornien immer wieder fanden, bald ein vertrauter Anblick gewesen sein. Sicher haben sie die Knochen gesehen, die an manchen Stellen aus den Felsen ragten, ohne daß sie den Ursprung dieser gekannt hätten. Sie hatten sowieso genug

In dieser Gegend in Colorado, unweit der Grenze zu Utah, fand man fossile Dinosaurierreste.

Der gepanzerte Schädel eines Monoclonius, eines vierbeinigen Dinosauriers, der vor über 70 Millionen Jahren in Nordamerika lebte und dem Nashorn entfernt ähnelte.

mit sich selbst zu tun und fanden kaum Zeit, sich Gedanken um diese Funde zu machen. So kommt es, daß die großen amerikanischen Funde trotz der endlosen Trecks durch dieses an Überresten reiche Gebiet zunächst noch ausblieben.

Erst 1855 und in den Jahren danach kam die ganze Sache in Bewegung, als Ferdinand Hayden mehrere Gebiete in Montana und Süddakota systematisch erforschte und dabei Zähne und Knochen von Riesenreptilien fand. Seine Funde waren jedoch für Skelettrekonstruktionen nicht ausreichend. Hayden und seine Kollegen wären bestimmt erstaunt gewesen, wenn sie gewußt hätten, daß ihre Fossilienfunde die Überreste von zweifüßigen Dinosauriern waren, die so groß waren wie die Iguanodonten und einen mächtigen „Entenschnabel" besaßen. Andere Fossilienreste stammten von gepanzerten, gehörnten Dinosauriern, die entfernte Ähnlichkeit mit Nashörnern hatten, obwohl sie viel größer waren.

Einige Jahre später, im Jahre 1869, wurde die Eisenbahnlinie, die Omaha in Nebraska mit der Pazifikküste verband, eröffnet. Als am 10. Mai 1869 in Promontory Point in Utah der letzte Bolzen festgeschraubt wurde, begann nicht nur eine neue Ära für die Vereinigten Staaten. Diese Zeit sollte sich auch als das goldene Zeitalter der Dinosaurierfunde herausstellen. Die Orte, die besonders reich an Fossilienresten waren, Wyoming und Colorado (beide sollten später berühmt werden), waren jetzt für passionierte Fossilienjäger mit der Bahn leicht zu erreichen.

Die Expeditionen von Marsh und Cope

Vor ungefähr 150 Millionen Jahren gab es in Nordamerika einen breiten Landschaftsgürtel, der sich von Montana bis nach Neumexiko erstreckte, von großen Flüssen durchfurcht und von endlosen Sümpfen bedeckt, in denen es von Leben nur so wimmelte. In diesem riesigen Gebiet lebten viele verschiedene Arten von Dinosauriern und Reptilien. Es gab damals so unzählig viele, daß ihre Überreste vom Wasser oft an verhältnismäßig eng begrenzten Stellen aufgehäuft wurden. Man bezeichnet diese Orte als „Dinosaurierfriedhöfe". Von 1870 an wurde in diesen vielversprechenden Gebieten systematisch geforscht.

Unter vielen anderen gab es zwei berühmte Wissenschaftler, die sich als Pioniere der Dinosaurierforschung besonders auszeichneten. Es waren Edward Drinker Cope und Othniel Charles Marsh. Beide organisierten gut ausgerüstete Expeditionen und verwendeten die modernsten Methoden, die es damals gab, bei der Ausgrabung und Erforschung der Fossilienlager in den Rocky Mountains. Cope und Marsh bereisten das Land wie Pioniere. Sie durchstreiften Gebiete, die wegen herumstreifender Banditen und kriegerischer Indianer oft gefährlich waren. Ihre Ausgrabungsmannschaften, Studenten und Arbeiter, waren alle mit Gewehren, großen Pistolen und Patronengürteln ausgerüstet. Unter ihnen wurde viel gekämpft, besonders wenn es darum ging, die Fossilienfunde der großen Reptilien an sich zu bringen.

Überall, wo Marsh und Cope eintrafen, waren die großen Dinosaurierfriedhöfe noch unberührt. Die riesigen Knochen, die häufig zwischen Schutt und spärlicher Vegetation schon zutage lagen, ließen sich daher leicht ausmachen; sie waren teilweise schon durch Wind und Regen erodiert. Insbesondere Marsh hatte das Glück, als erster diejenigen Gebiete zu erreichen, in denen sehr viele Dinosaurierfossilien begraben lagen. Er brachte manch unglaubliches Reptil ans Tageslicht, dessen Existenz die Menschheit niemals hätte erahnen können. Aus ihren

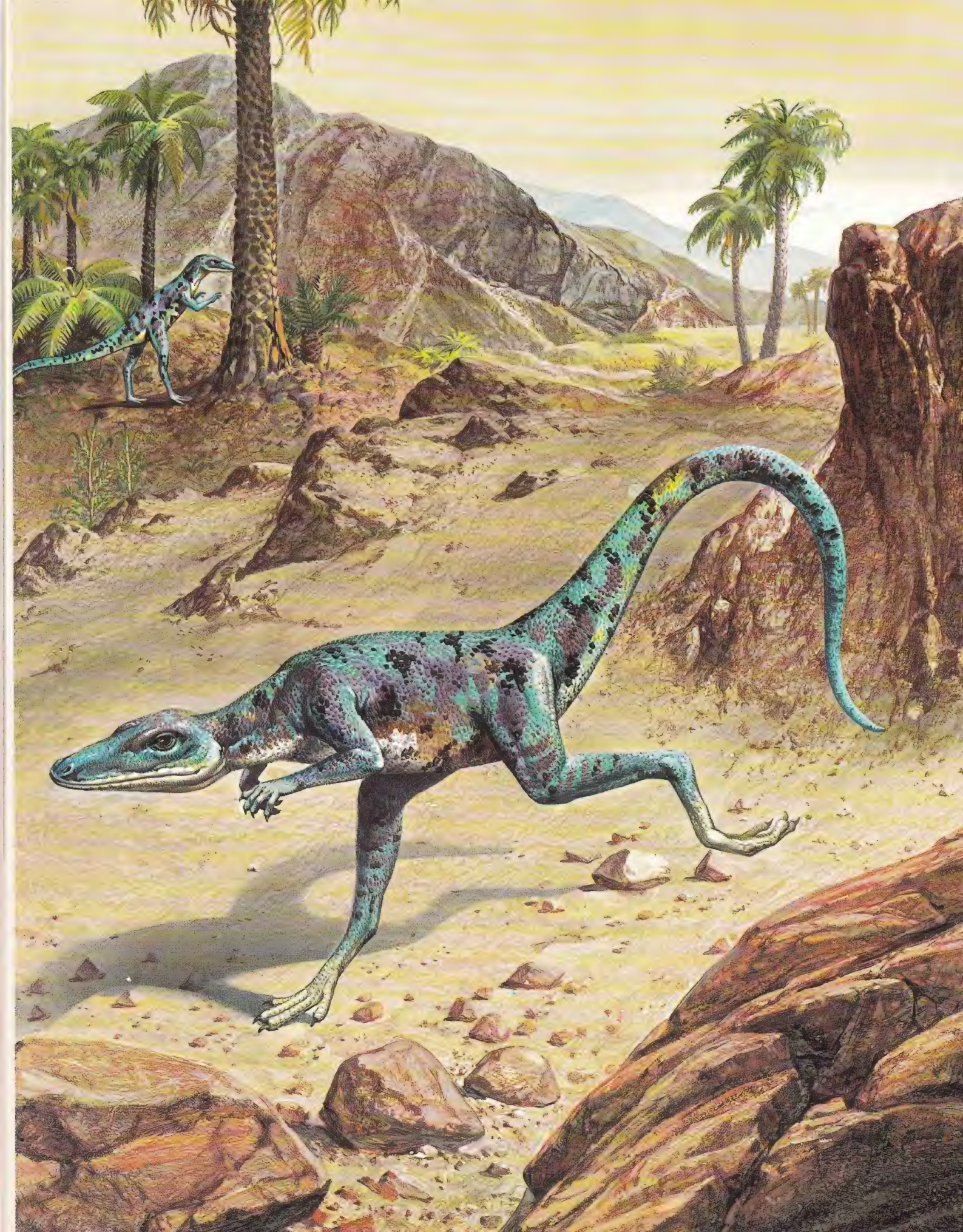
Die fossilienreiche Gegend, in der das Dinosaur National Monument errichtet wurde.

steinernen Gehäusen traten Dinosaurier heraus, die den Körper eines Elefanten und den Hals einer Schlange hatten. Andere hatten einen Drachenkamm oder waren wie ein Tankwagen gepanzert, wieder andere waren schlank und ungepanzert und müssen zu Lebzeiten schnell wie ein Vogel Strauß gewesen sein.

Die „Schreckensechsen", die ein paar Jahrzehnte früher von Owen in drei Arten klassifiziert worden waren, entpuppten sich als wahrhafte Armee von zahlreichen Formen und Arten. Es zeigte sich ein bis dahin gänzlich unbekannter Aspekt prähistorischer Zeiten auf der Erde.

Die Pionierzeit der Dinosaurierforschung endete mit den großen Expeditionen von Marsh und Cope, die bis nach 1890 dauerten. Schon 1884 war es Marsh gelungen, eine genaue Klassifikation zu erarbeiten, in der mehrere Dutzende von Dinosaurierarten erschienen. Was dann später folgte, erweiterte den Kreis verfügbaren Wissens in einem fortlaufenden Prozeß. Dies war die heroische Epoche der Forschung. Marsh, Cope und die ersten Wissenschaftler, die ihnen folgten, enthüllten alle diese verborgenen Geheimnisse des Wilden Westens.

Diese Zeit ist nicht vergessen: Auf der Staatsgrenze zwischen Colorado und Utah befindet sich das *Dinosaur National Monument*. Es wurde um einen sehr alten, berühmten Steinbruch herum angelegt, aus welchem viele der ausgegrabenen Skelette stammen, dem *Jensen-Steinbruch*. Vor 150 Millionen Jahren fanden die ersten Dinosaurier in diesem Sumpfgebiet ihre Grabstätte, und noch heute kann man erleben, daß Wissenschaftler dieses Naturschutzgebiet aufsuchen, um noch mehr Dinosaurierknochen auszugraben.



Die Dinosaurier der Trias

Saurischier und Ornithischier

Als 1841 Richard Owen in seinem berühmten „Report on the British fossil reptiles" das Iguanodon, den Ileosaurus und den Megalosaurus beschrieb, schloß er mit den Worten: „Man darf annehmen, daß es genügend Beweise für die Klassifikation einer gesonderten Familie oder Unterordnung echsenartiger Reptilien gibt, für die ich den Namen Dinosaurier vorschlagen möchte." Wie wir schon sagten, blieb die Bezeichnung haften, die Klassifikation aber wurde später modifiziert.

Heute spricht man nicht mehr von „Familie" oder „Unterordnung". Die Dinosaurier werden mittlerweile in zwei Ordnungen eingeteilt: Saurischier und Ornithischier. Die Bezeichnung „Dinosaurier" ist daher für die moderne Wissenschaft fast ohne Bedeutung, obwohl es dafür bis jetzt keine andere Bezeichnung gibt.

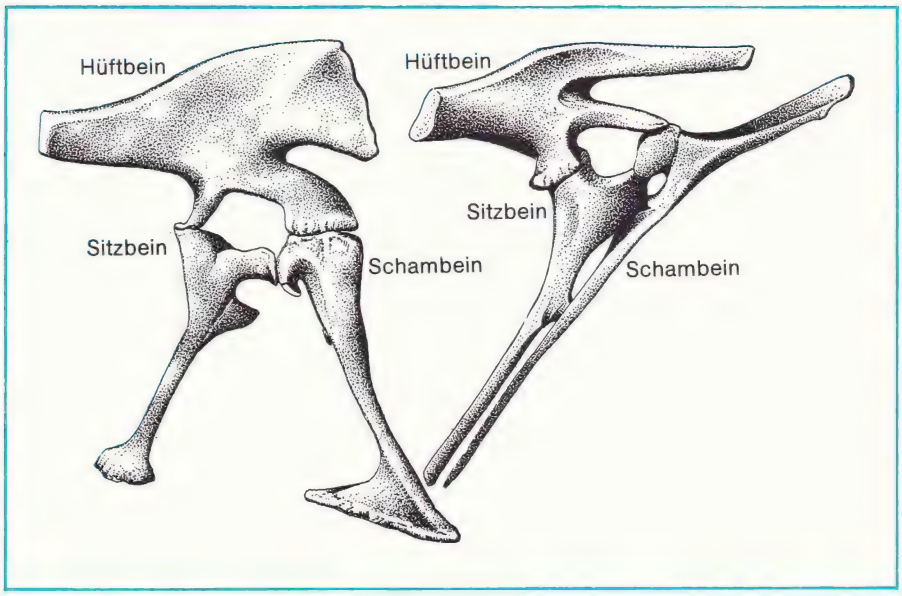
Für eine Klassifikation der Dinosaurier ist der *Beckengürtel* sehr wichtig. Beim Menschen sind die Knochen dieses Gürtels fest miteinander verbunden und bilden so das Becken, in dem die Oberschenkelgelenkköpfe verankert sind. Bei Reptilien jedoch gibt es drei verschiedene Knochen: Darmbein (Ileum), Sitzbein (Ischium) und Schambein (Pubis). Die beiden letzteren kennzeichnen auf Grund ihrer unterschiedlichen Lage die beiden Dinosaurierordnungen.

Bei den *Saurischiern* trennen sich Sitzbein und Schambein, die übrigens sehr langgestreckt sind. Das Sitzbein verläuft zum Schwanz hin, während das Schambein nach vorn zeigt und am Ende mehr oder weniger erweitert oder gerundet ist. – Bei den *Ornithischiern* hingegen ist auch das Schambein nach hinten geneigt und teilweise mit dem Sitzbein verbunden; beide, Ischium und Pubis, sind dünner und nicht weiter differenziert.

Der Saltoposuchus, ein Vertreter der Thekodontier, von denen die Saurischier in der Trias abstammten. Der auffallende Unterschied, der schon damals zwischen den Vorder- und Hinterbeinen bestand, wurde im Laufe der Evolution immer größer.

Die Verwandtschaft der Archosaurier

Der Beckengürtel der Saurischier überrascht den Wissenschaftler nicht, da seine Struktur typisch reptilienhaft ist. Ganz anders ist es aber mit den Ornithischiern. Ihr Beckengürtel ist dem der Vögel ähnlich, obwohl es uns seltsam erscheint, daß der Beckengürtel eines Iguanodons dem einer Taube oder eines Huhns ähnlich sein soll. Hier zeigen sich die



Rechts: Unterschiede in der Beckenstruktur bei den beiden großen Dinosauriergruppen: den Saurischiern und den Ornithischiern. Links: das Becken eines Saurischiers (Allosaurus); rechts: das Becken eines Ornithischiers (Thescelosaurus). Bei der ersten Gruppe weist das Schambein nach vorn, bei der zweiten ist es nach hinten geneigt.

Rechte Seite: Die Entwicklung der Archosaurier im Mesozoikum. Von den Thekodontiern stammten nicht nur die Dinosaurier und die Krokodile ab, sondern auch die Flugsaurier (Pterosaurier). Es muß jedoch betont werden, daß es vor dem Mesozoikum keine Archosaurier gab und daß sie am Ende dieses Zeitabschnitts alle ausgestorben waren, mit Ausnahme der Krokodile, die bis heute überlebt haben.

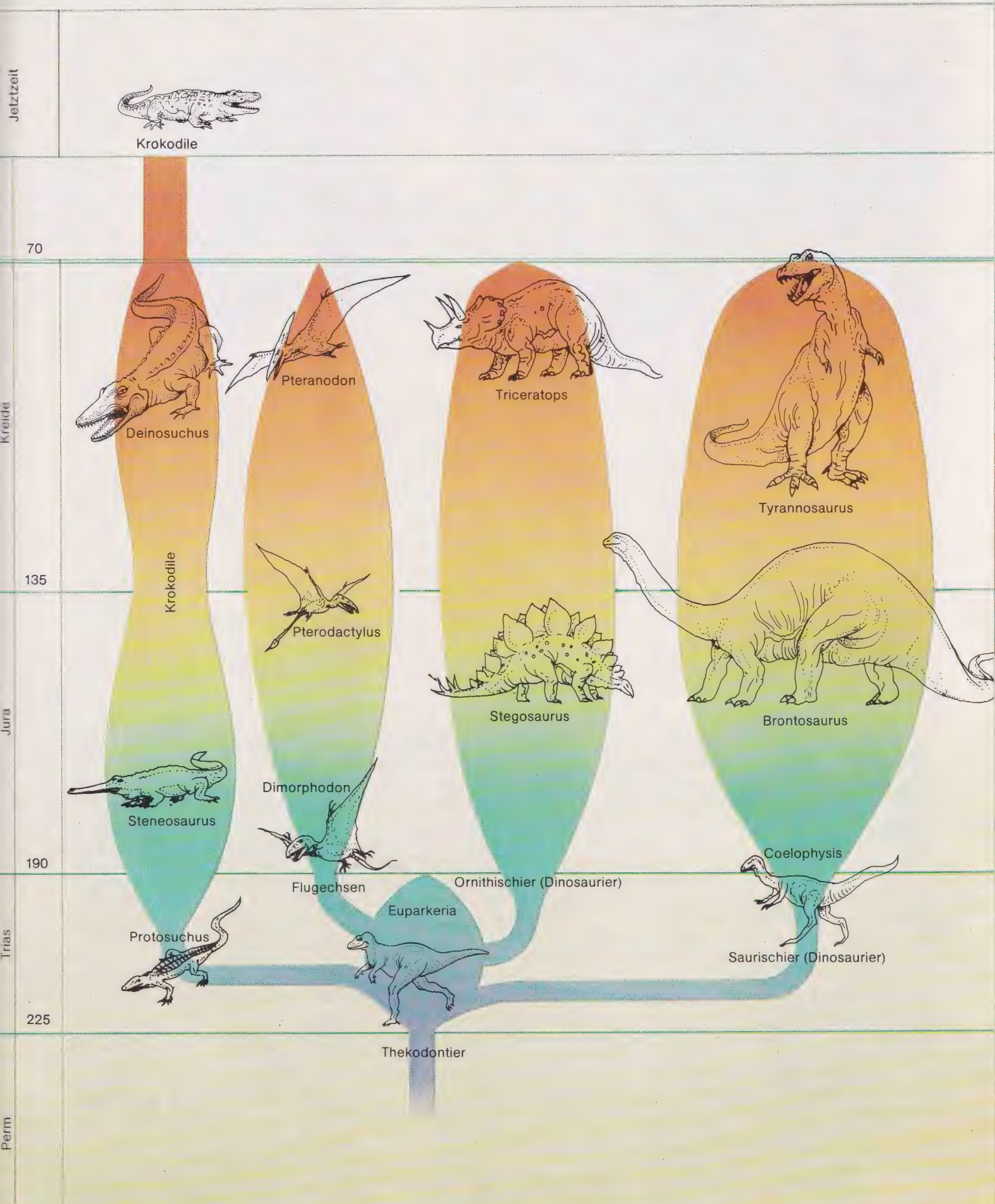
unendlichen Möglichkeiten der Natur und das Entwicklungspotential jener großen Gruppe der Reptilien, der *Archosaurier,* von denen die Dinosaurier nur einen bescheidenen Zweig darstellen.

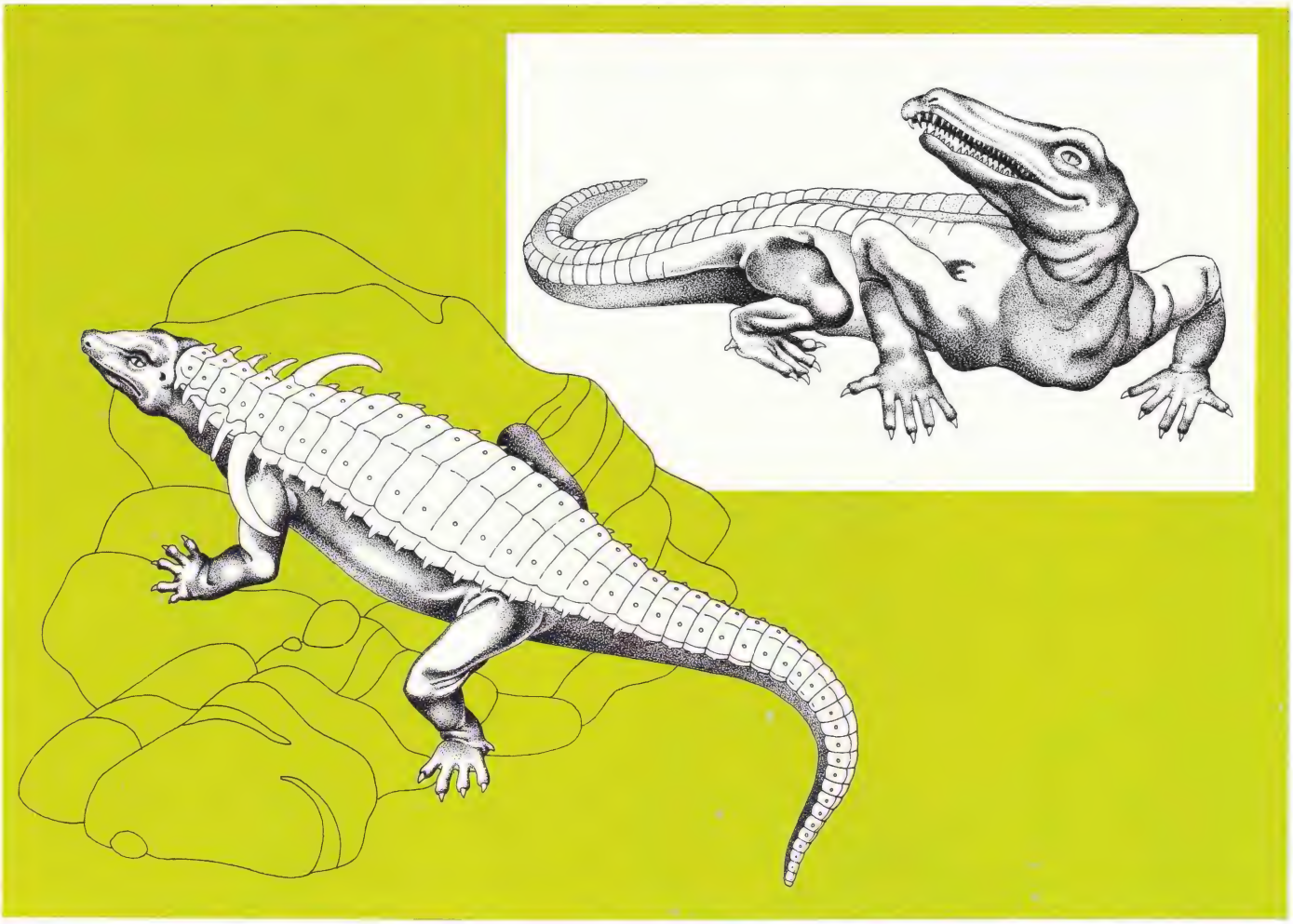
Vielleicht ist heute, da die Archosaurier nur durch Krokodile und Alligatoren vertreten sind, dieses Entwicklungspotential erschöpft. Vielleicht ist es aber auch noch latent vorhanden, weil unter heutigen Bedingungen die Erde für die Weiterentwicklung dieser Gruppe nicht geeignet ist. Sicher ist aber, daß im *Mesozoikum* oder Erdmittelalter (eine Zeitspanne, die von vor 225 Millionen Jahren bis vor 70 Millionen Jahren dauerte) diese Reptiliengruppe der Archosaurier eine wahrhaft explosive Entwicklung erlebte, aus der nicht nur Dinosaurier und Krokodile, sondern auch Flugsaurier und Vögel hervorgegangen sind.

Heute sind die Archosaurier nur noch von begrenzter ökologischer Bedeutung. Sie sind jedoch für Dinosaurierforscher von Interesse, weil sie wertvolle Informationen über Körperstruktur und Fortbewegungsart der großen ausgestorbenen Reptilien liefern. Nicht nur sind *Krokodile* und *Alligatoren* die höchstentwickelten Reptilien der heutigen Welt, sie zeigen auch in mehreren Teilen ihrer Skelettstruktur viele bemerkenswerte Ähnlichkeiten mit Dinosauriern. Unter anderem gibt es zwischen ihren Schädelknochen mehrere Fenster, genau wie zwischen den Schädelknochen der Dinosaurier und sogar an denselben Stellen. Beim Krokodil sind die Hinterbeine viel besser und stärker als die Vorderbeine entwickelt. Auch dies ist typisch für die Dinosaurier. Beim Anblick eines Krokodils, das sich auf dem festen Land schnell fortbewegt, ohne mit seinem Bauch den Erdboden zu berühren, könnte man durchaus an einen Dinosaurier mit leicht gekrümmten Hinterbeinen denken.

Die Thekodontier, Vorfahren der Dinosaurier

Einer großen Unterklasse der Archosaurier sind wir bereits weiter vorn in diesem Band begegnet. Wir meinen die Ordnung der *Thekodontier (Thecodontia),* deren Vertreter am Anfang der Trias auf der Lebensbühne erschienen. Sie waren es, welche die bereits erwähnte erstaunliche Blüte der Archosaurierentwicklung auslösten. Die Thekodontier zeigten


Jetztzeit
Krokodile
70
Kreide
Deinosuchus
Pteranodon
Triceratops
Tyrannosaurus
Krokodile
135
Pterodactylus
Jura
Stegosaurus
Brontosaurus
Steneosaurus
Dimorphodon
190
Flugechsen
Ornithischier (Dinosaurier)
Coelophysis
Euparkeria
Trias
Protosuchus
Saurischier (Dinosaurier)
225
Thekodontier
Perm



Zwei Vertreter aus der Gruppe der Thekodontierreptilien; von links: der Desmatosuchus und der Chasmatosaurus.

eine ganz außerordentliche Vitalität in der Entwicklung und Anpassung, als sie auf der Lebensbühne erschienen, und sie vermachten diese evolutionären Vorzüge den Dinosauriern.

Unter den Thekodontiern gab es dermaßen viele völlig verschiedene Formen von Lebewesen, daß ihre systematische Zusammenfassung zu einer einzigen Ordnung nahezu unmöglich erscheint. Dennoch gibt es eine so offenbare Beziehung in der Skelettstruktur der Thekodontierfossilien, daß eine derartige Klassifikation berechtigt ist. Man findet unter den Thekodontiern Lebewesen wie den *Chasmatosaurus,* der einem kleinen Krokodil (allerdings mit längerem Kiefer und gekurvtem Schnabel) ähnelte, den *Desmatosuchus,* der eher wie eine Echse mit einem Panzer aus großen Schuppen und seltsamen Hörnern aussah, und die *Euparkeria,* ein leichtgewichtiger Zweifüßer und in jeder Hinsicht einem kleinen Dinosaurier ähnlich.

Lange Zeit schien es, als würden die vierfüßigen Thekodontier, wie z. B. der Chasmatosaurus, die Erde beherrschen. In der unteren Trias lebte der Chasmatosaurus in Südafrika, Südamerika und Südostasien und war daher über einen großen Teil von Gondwanaland verbreitet. Zur selben Zeit lebte, zumindest in Südafrika, die Euparkeria, ein Reptil, dessen Hinterbeine viel länger und kräftiger waren als seine Vorder-

beine. Dies ist auch charakteristisch für das heutige Krokodil und kennzeichnet alle Dinosaurierskelette: Es ist das Merkmal der vorherrschenden Tiergruppe und unterscheidet die Nachkommen dieser Welteroberer von allen anderen Lebewesen.

Zweifüßige Echsen, die wie Strauße liefen

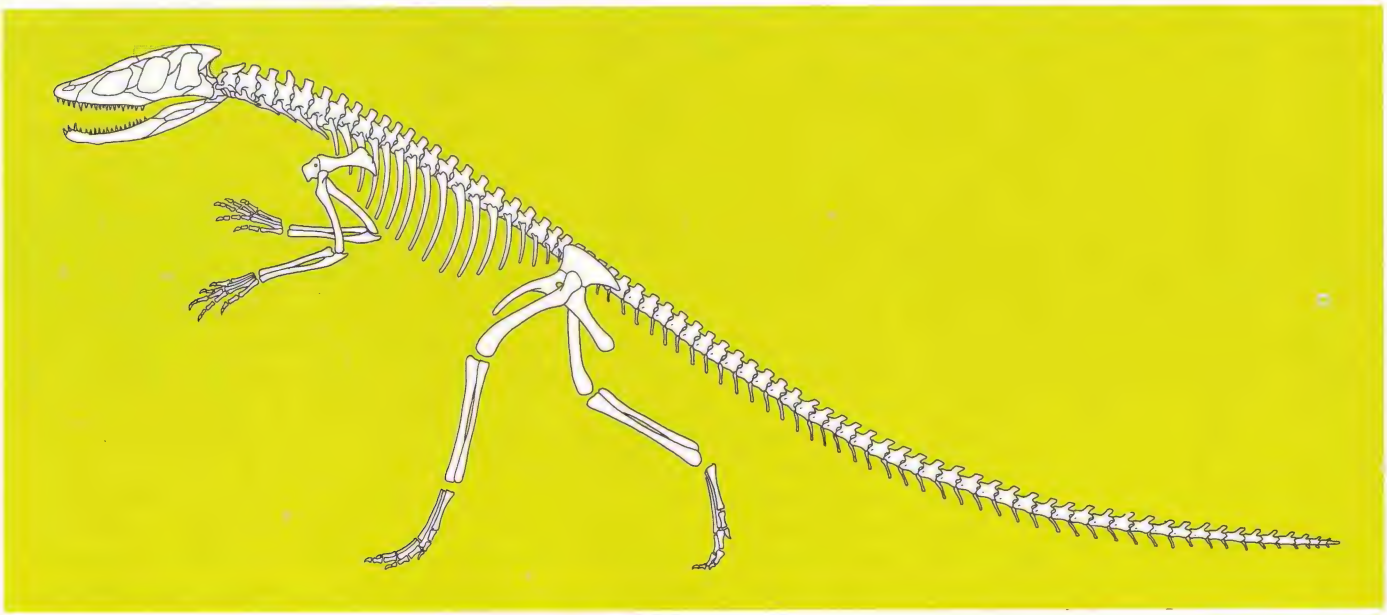
Die Euparkerien waren in dem Gebiet weit verbreitet, dessen Mittelpunkt die Steppe der Großen Karru bildete. In diesem Gebiet herrschten noch harte Lebensbedingungen. Seit Urzeiten hatten Reptilien ungeheuerliche Hindernisse bewältigt, um in dieser öden, windgepeitschten Landschaft überleben zu können. Der unerbittlich harte Prozeß der Auslese, dem sie dadurch alle unterworfen waren, führte zur Entstehung einiger phantastischer Arten. All dies geschah im Perm und wiederholte sich in der Trias.

Unter solchen Bedingungen wurden die Reptilien mit den längeren Hinterbeinen bevorzugt, da sie in der Lage waren, auf ihre Beute zu springen und zu laufen wie Laufvögel. Auf diese Weise entwickelten sie eine Geschwindigkeit und ein Leistungsvermögen, das kein anderer Vierfüßer erreichen konnte. Im Laufe der Zeit überlebten die Euparkeria und die mit ihr verwandten Tiere nicht nur, sondern sie gewannen sogar die absolute Herrschaft in der damaligen Welt.

Von ihnen stammte eine Gruppe großer, zweifüßiger Echsen ab, die außerordentlich schnelle und gefürchtete Raubtiere waren. Sie hatten den Kopf eines Krokodils, einen langen Schwanz und im Laufe der Evolution immer kleiner werdende Vorderextremitäten, die wie mit „Händchen" ausgestattete Arme aussahen. Ihr Skelett erinnert an das der Dinosaurier, obwohl diese Echsen immer noch Thekodontier waren. Von Fachleuten erhielten sie den wissenschaftlichen Namen *Pseudosuchia (Pseudosuchier).* Diese Reptilien waren gegen Ende der Trias über ganz Pangäa verbreitet, von einem Ende dieses Superkontinents bis zum anderen wandernd.

Der *Hesperosuchus* in Nordamerika und der *Saltoposuchus* in Europa sind typische Vertreter der Pseudosuchier in der oberen Trias.

Das Skelett eines Thekodontiers aus der oberen Trias, des Hesperosuchus. Dieses Tier, das zur Gruppe der Pseudosuchier gehörte, war 1,2 m lang und lebte in Nordamerika. Es ähnelte den Saurischiern.

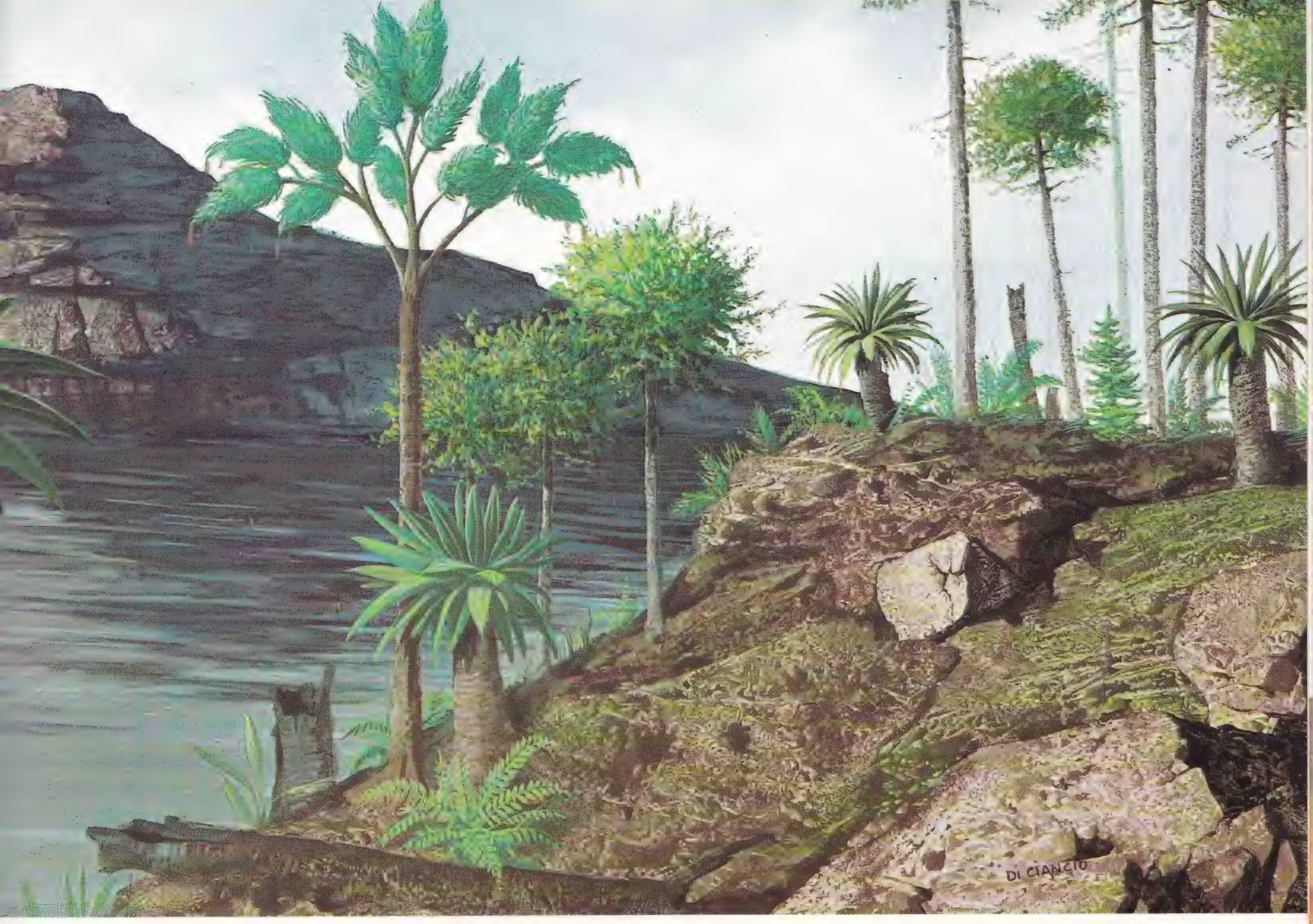


Beide hatten eine Länge von etwa 1,20 m und sahen einander sehr ähnlich. Da sich beim heutigen Reptil eine schnelle Bewegungsart mit einer leuchtenden Farbe verbindet, ist anzunehmen, daß auch der Hesperosuchus und der Saltoposuchus leuchtend gefärbt waren. Man kann sich gut vorstellen, wie diese Reptilien mit weit ausholenden Vordergliedmaßen wie Strauße über das weite, offene Land liefen und wie sie sich mit peitschenartig erhobenem Schwanz auf ihre Beute stürzten.

Der Übergang von den Thekodontiern zu den Dinosauriern

Als die Pseudosuchier über die wilden Savannen der Erde jagten, gab es andere, sehr ähnliche Reptilien, die auch ebenfalls wie Strauße rannten und gleichfalls Raubtiere waren und deren Vorderextremitäten sich inzwischen zu Händen umgebildet hatten. Dies waren die ersten *Dinosaurier.* Sie ähnelten den Pseudosuchiern auf die natürlichste Weise von der Welt; denn sie stammten von ihnen ab. Dabei hatten sich nur wenige unbedeutende Veränderungen vollzogen.

Allerdings stellten diese Dinosaurier eine ernste Gefahr für die Pseudosuchier dar, weil sie deren ökologische Nische besetzten und weil sie sich geradezu sprunghaft weiterentwickelten. Ihr Skelett wurde fester, und ihre Hinterbeine bildeten schließlich eine so mächtige Stütze,



Rekonstruktion der typischen Vegetation an den Küsten Grönlands in der oberen Trias

wie sie kein Lebewesen vorher jemals besessen hatte. So kommt es durch eine Laune der Natur zu der sonderbaren Tatsache, daß die Pseudosuchier mit ihren natürlichen Feinden zusammenlebten, welche zugleich die höchstentwickelten unter ihren Nachkommen waren und die besten ihrer Eigenschaften weiter ausgebildet hatten.

Heute ist es nicht mehr möglich, genau anzugeben, auf welche Weise sich der Übergang vom Pseudosuchus zum Dinosaurier vollzogen hat. Es gibt da eine nicht genau zu bestimmende Abstufung, welche die beiden zugleich trennt und verbindet. In Schichtungen aus der mittleren Trias haben Wissenschaftler echte Dinosaurier Seite an Seite mit Pseudosuchiern gefunden, in Schichtungen aus der unteren Trias allerdings nur Pseudosuchier. Es ist also klar, daß die Dinosaurier die Lebensbühne frühestens in der Zeit der ausgehenden unteren Trias betreten haben. Der Übergang fand also wahrscheinlich vor 210 bis 220 Millionen Jahren statt.

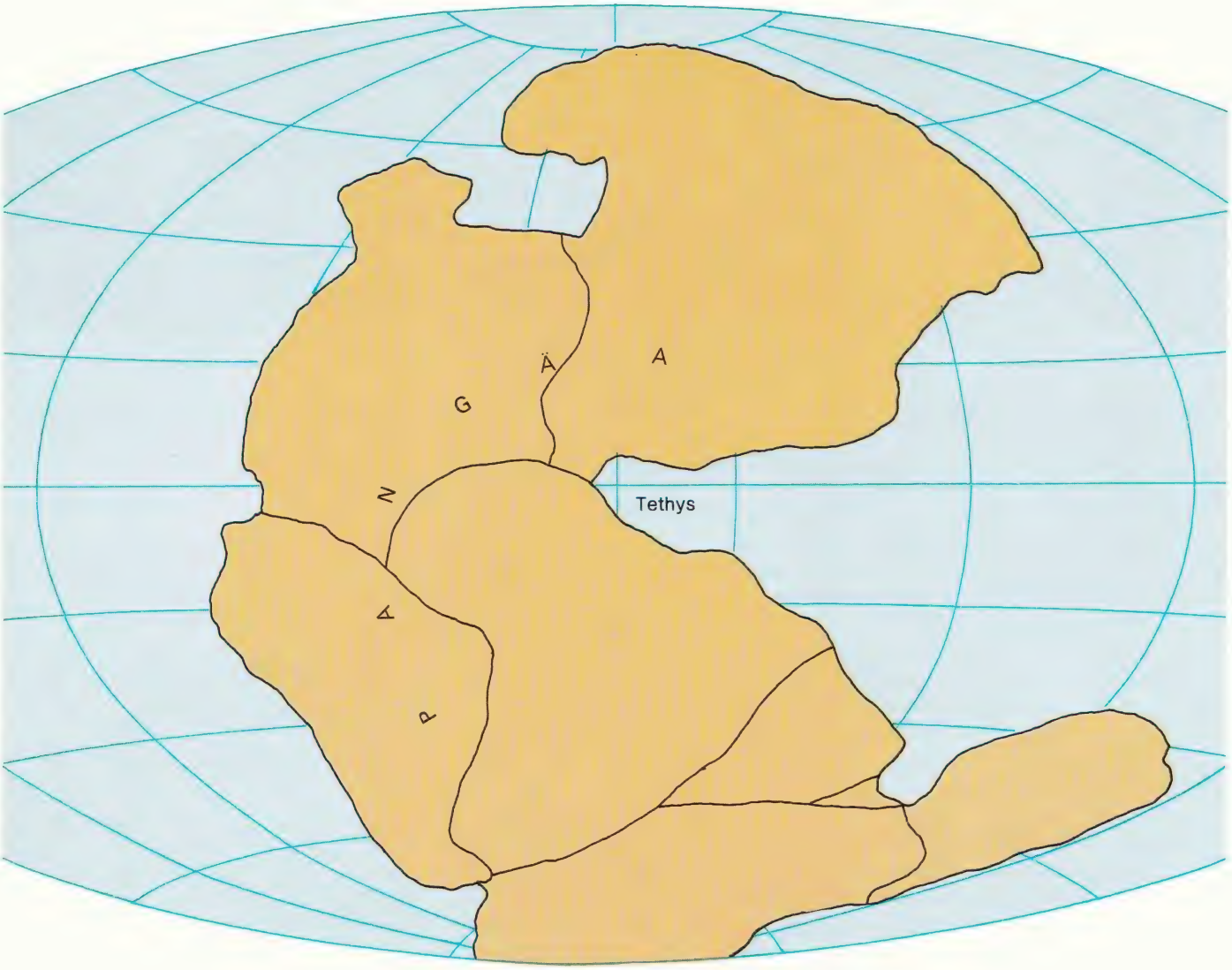
Über die Gegend, aus der die Dinosaurier stammen, läßt sich ebenfalls einiges sagen. Die Dinosaurier wurden in Schichtungen aus der mittleren Trias in Südafrika und Südamerika entdeckt; dies ist aller Wahrscheinlichkeit nach kein Zufall. Wir haben immer wieder gesehen, daß die Karrusteppe seit den frühesten Zeiten des Perms ein unerschöpfliches Reservoir neuer Reptilien war. So werden mit einiger Sicherheit

auch die kriegerischsten unter den Reptilien, die „Schreckensechsen", im Innern von Gondwanaland entstanden sein und sich von hier aus nach allen Richtungen über die Erde verbreitet haben.

Die fleischfressenden Dinosaurier der Trias

Die ersten Dinosaurier der Erde waren natürlich Saurischier; das sollte niemanden überraschen. Die Pseudosuchier besaßen ein typisches Reptilienbecken, das sie von ihren unmittelbaren Vorfahren geerbt hatten. Es gibt allerdings eine Tatsache, die erstaunlich ist: In derselben Zeit, in der sich die leichten, schnellen Raubsaurischier entwickelten, tauchten auch andere, schwere Saurischier auf, deren Zähne auf eine Anpassung an pflanzliche Ernährung hindeuten. Eine so frühzeitige Trennung der Entwicklungswege ist in der Tat bemerkenswert.

Unter den Saurischiern gab es in der Trias eine Gruppe zweibeiniger Raubtiere, die schon vorher in kleinerem Maßstab in Erscheinung getreten waren, und zwar in jenen Scharen furchteinflößender Lebewesen, die in aufeinanderfolgenden Zeitaltern Schrecken in den Wäldern



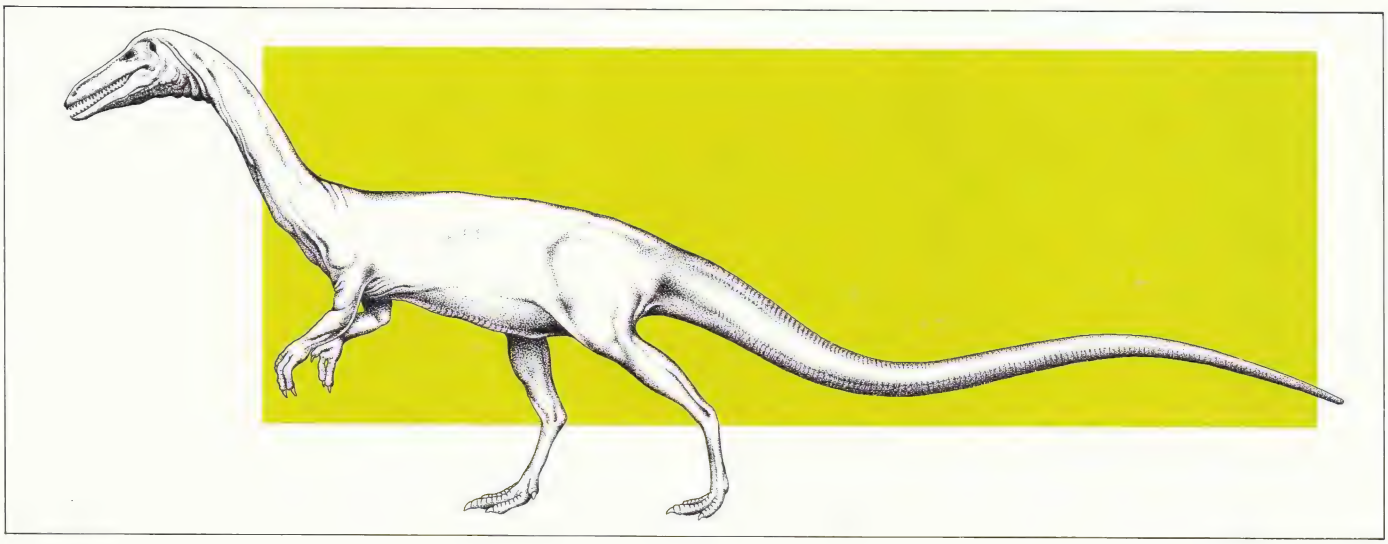
Kartographische Darstellung der Erde, wie sie am Anfang der Trias ausgesehen haben muß. Die Länder im Süden waren mit denen des Nordens verbunden, aber zwischen diesen beiden vereinigten Blöcken gab es im Osten einen Ozean, der tief in das Land hineinschnitt. Geologen haben diesen Ozean Tethys genannt. Heute bildet der Rest dieses Ozeans das Mittelmeer, das sich zwischen Europa und Afrika befindet.

verbreiteten, da sie schließlich so groß wurden, daß sie ihre Köpfe mit den entsetzlichen Zähnen bis zu den Wipfeln der Bäume emporheben konnten. Ihr wissenschaftlicher Name ist *Theropoden.* Sie werden in zwei Gruppen unterteilt: in die (mächtigeren) *Karnosaurier* und die (leichteren) *Chelurosaurier.*

Einer der typischsten Karnosaurier aus der oberen Trias in Europa war der *Ornithosuchus.* Eine Zeitlang hielt man ihn für einen riesigen Thekodontier, weil er dem Hesperosuchus und dem Saltoposuchus, die zur gleichen Zeit lebten, so außerordentlich ähnlich war. Der Ornithosuchus war 3,60 m lang. Obwohl Zweibeiner und lebhaft, war er kräftig gebaut. Sein Schädel hatte schon all die Eigenschaften, welche später in ausgeprägterer Form den Schädel des riesigen Tyrannosaurus, des größten Raubtiers aller Zeiten, charakterisierten.

Über die anderen urtümlichen Karnosaurier wissen wir wenig, und dies wenige ist obendrein noch zweifelhaft. Zu nennen sind u. a. die zarten und zierlichen *Zölurosaurier* aus der Trias. Auch der 2,50 m lange *Coelophysis* ist von Interesse. Er besaß ein leichtes Skelett, einen

Die Entwicklung der großen Raubdinosaurier, der Karnosaurier, im Laufe der Jahrmillionen. Hier werden verschiedene Vertreter miteinander verglichen: Euparkeria, ein Pseudosuchus, der ein Vorfahr der Saurischier war; dann ein Karnosaurier aus der Trias, der Ornithosuchus; als dritter der Allosaurus, ein Karnosaurier aus dem Jura; schließlich der letzte und größte der Karnosaurier, der Tyrannosaurus der Kreidezeit. Die Größenunterschiede zwischen den einzelnen Gruppen waren, wie man sieht, beträchtlich.



schwanenartigen, langen Hals und einen stark in die Länge gezogenen Kopf. Wegen seiner Leichtigkeit, der Länge seines Halses und Kopfes und seiner zweibeinigen Haltung ähnelte er entfernt einem Vogel, obwohl sein Becken unzweifelhaft das eines Saurischiers war. Der Coelophysis sah gewiß zierlich aus, aber dies sollte niemanden über seine Raubtiernatur täuschen. Ein Skelett von Coelophysis wurde vor kurzem in Neumexiko gefunden. Seltsamerweise war in dieses Skelett (im Magenbereich) das Skelett eines kleineren Coelophysis eingebettet. Offenbar verschlangen diese Echsen die Jungen ihrer eigenen Art.

Der schnellfüßige Coelophysis lebte, zusammen mit anderen Vertretern seiner Gruppe, in Amerika. Ähnliche Lebewesen wurden in großer Zahl in Europa gefunden, auch sie ganz offenbar außerordentlich leicht gebaut. Der zierlichste unter ihnen war zweifellos der *Scleromochlus*, der in Schichtungen aus der oberen Trias in Schottland gefunden wurde und die Proportionen einer Eidechse hatte. Sein Schädel maß 4 cm und war entsprechend länglich geformt. Seine Kiefer waren mit kräftigen Zähnen ausgestattet und darin denen seiner größeren Verwandten ähnlich. Dieses winzige Reptil mit seinem langen, schlanken Schwanz konnte ohne jede Mühe, genau wie unsere heutigen Eidechsen, auf Bäume und Felsen klettern.

Linke Seite, oben: Eine große Steinplatte aus der oberen Trias mit einer ausgezeichnet erhaltenen Gruppe von Coelophysisskeletten. Diese Lebewesen waren typische Vertreter der ersten leichten Raubdinosaurier, der Zölurosaurier. Die außerordentlich wertvolle Versteinerung wurde in Neumexiko entdeckt.

Linke Seite, unten: Darstellung eines Coelophysis. Dieses Reptil war 2,4 m lang und besaß derart interessante Skeletteigenschaften, daß Wissenschaftler es für den Vorfahren nicht nur der Zölurosaurier, sondern auch der großen Karnosaurier halten.

Unten: Das Skelett eines Scleromochlus taylori, eines zierlichen Zölurosauriers aus der oberen Trias, der eine maximale Länge von 30 cm erreichte.

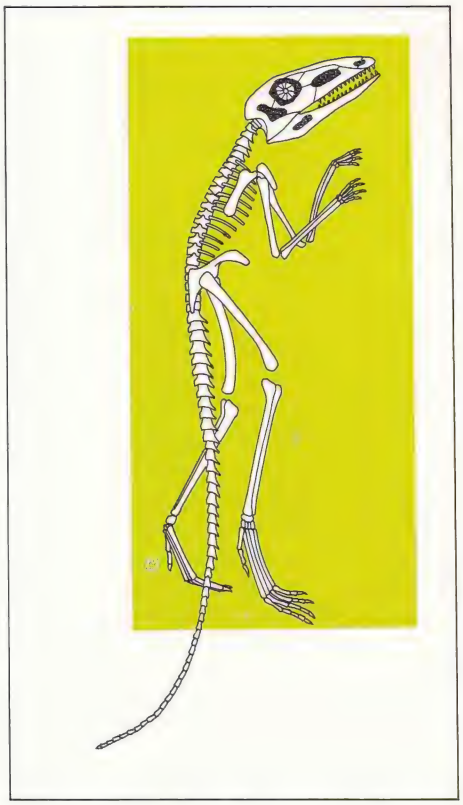
Verwandte des riesigen Brontosaurus in der Trias

Im Jahre 1878 schlug der Paläontologe Marsh vor, den gewaltigen pflanzenfressenden Dinosauriern, von denen er so viele Überbleibsel auf seinen Forschungsreisen durch die wildesten Gegenden von Wyoming und Colorado gefunden hatte, den Namen *Sauropoden* zu geben. Der Name überlebte und wird noch heute im bewußten Gegensatz zu der Bezeichnung *Theropoden* (für die fleischfressenden Dinosaurier) gebraucht. Sauropoden bedeutet nämlich wörtlich „mit Echsenfüßen", wohingegen Theropoden „mit den Füßen wilder Tiere" bedeutet.

Zwar gab es in der Trias keine Brontosaurier oder ihnen entsprechende Lebensformen, aber es gab eine Anzahl von Dinosauriern, die offenbar verwandt mit ihnen waren, wenn sie auch primitiver gebaut waren; diese hießen darum *Prosauropoden*.

In Perm und Trias hatte es immer wieder Familien räuberischer Reptilien gegeben, die sich außerordentlich schnell weiterentwickelten und sich dann sehr bald in fleischfressende und pflanzenfressende Gruppen spalteten. In der Folge kaum wahrnehmbarer Veränderungen hatten sich einige Vertreter dieser Familien zuerst an eine gemischte Kost angepaßt. An einem gewissen Punkt in der Generationsfolge war dann der Jagdtrieb geschwächt und die Neigung zu pflanzlicher Ernährung stärker hervorgetreten. Solche Veränderungen liefen oft darauf hinaus, daß sich gewaltig große Lebewesen entwickelten, nicht nur, weil Pflanzenfresser ihre Nahrung nicht zu erjagen brauchen, sondern auch, weil die Eingeweide von Pflanzenfressern länger sind und ihr Verdauungsapparat schwerfälliger arbeitet.

Diese Übergangsphase wird durch die Prosauropoden repräsentiert. Sie führte zur Auseinanderentwicklung der Saurischier. Wie unausweichlich diese Entwicklung war, erwähnten wir bereits oben im Zusammenhang mit den Chelurosauriern und den Karnosauriern. Die älteren Prosauropoden der mittleren Trias ähnelten noch den Zölurosauriern. Später gab es dann in dieser Gruppe kräftiger gebaute Formen, die mehr und mehr zu vierbeiniger Fortbewegung neigten, während sich eindeutige Pflanzenfresser neben Formen entwickelten, die ebenso



eindeutig Fleischfresser waren. Unter den ersteren gab es z. B. den gigantischen *Melanorosaurus* der oberen Trias in Südafrika. Er war 12 m lang, hatte einen langen Hals und Schwanz und bewegte sich vierbeinig fort. Hier gab es eine bemerkenswerte Verwandtschaft zum Brontosaurier. Diese Verwandtschaft war so augenfällig, daß einige Paläontologen den Melanorosaurus von anderen ähnlichen Reptilien unter den Prosauropoden abtrennen wollen und als eigenständigen, bereits voll ausgeprägten Sauropoden ansehen.

Die mächtigen Plateosaurier in den Wüsten

Die bekanntesten und am weitesten entwickelten Prosauropoden der oberen Trias in Europa waren zweifellos die *Plateosaurier,* die zugleich die letzten Vertreter ihrer Gruppe waren. Die Plateosaurier waren rund 9 m lang und bewegten sich aufrechtgehend fort; ihren Kopf hielten sie dabei etwa 3 m über dem Erdboden. Auch diese ungeheuer großen Lebewesen bezeugten wie der Melanorosaurus die Entwicklungsmöglichkeiten der Dinosaurier. Sie waren als Vorfahren der Riesen würdig, die in den folgenden Zeitaltern auftreten sollten. Ihr Körper war kräftig, ihr Hals lang und wohlgegliedert, der Kopf allerdings war relativ klein und kurz. Wenn die Plateosaurier auf dem festen Land oder in den Sümpfen nach Nahrung Ausschau hielten, ruhten ihre Vorderfüße auf

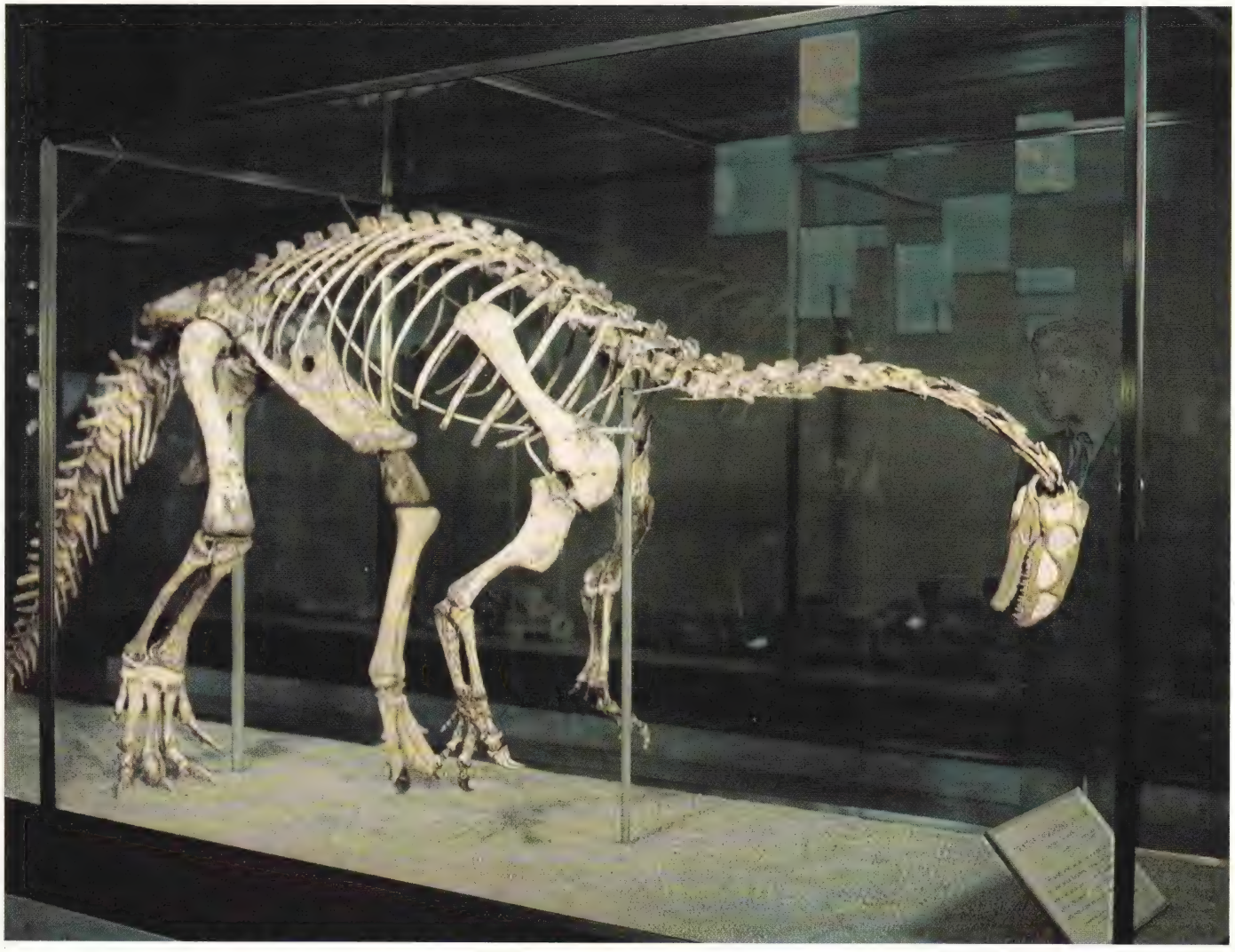
dem Boden. Wenn sie lange Strecken zurückzulegen hatten, bewegten sie sich auf ihren Hinterbeinen und gingen wie ein Zweibeiner; dabei balancierten sie das Gewicht der oberen Körperteile mit ihrem kräftigen Schwanz aus.

Ganze „Friedhöfe" von Plateosauriern wurden an zwei Stellen in Deutschland gefunden: bei Halberstadt und bei Trossingen. Sie fanden sich zwischen Lagen von bröckeligem, dunkelrötlichem Lehm, der ursprünglich Staub gewesen war und den der Wind über die Wüsten der Trias hingeblasen und verstreut hatte. Dank dieser Tatsache waren die Wissenschaftler imstande, die Gewohnheiten des Plateosaurus zu studieren. Man stellte fest, daß er auf der Nahrungssuche jährlich auf Wanderschaft ging. Gelegentlich erwiesen sich diese Wanderungen als tödlich, wenn die Tiere dabei auf einen gar zu ausgedehnten Wüstenstreifen gelangten.

In der oberen Trias gab es ja im Gebiet des heutigen Deutschland Trockenzonen, die zu bestimmten Zeiten des Jahres eine geringfügige Vegetation zuließen, die sich jedoch in der Dürreperiode in eine leuchtend gefärbte, geisterhafte Wüste verwandelten.

Durch diese Wüste zogen ganze Herden von Plateosauriern. Sie kamen von den Küstengegenden, wo es vereinzelt Sümpfe und Lagunen

Die Tragödie der Plateosaurier, die sich in großen Gruppen durch die Wüsten des alten Germaniens bewegten. Auf der Suche nach Weideland begaben sich diese Tiere jährlich auf Wanderschaft, auf der sie Wüstenstreifen durchqueren mußten. Manchmal wurden ganze Gruppen von Sandstürmen überrascht, oder die Länge der Wanderung führte bei ihnen zu einem Zustand der totalen Erschöpfung. In beiden Fällen hinterließen diese riesigen Lebewesen Berge von Leichen.



Ein Plateosaurierskelett in derjenigen Körperhaltung, die die Tiere beim Übergang von der zweibeinigen zur vierbeinigen Fortbewegungsart einnahmen.

gab, und strebten zu den fruchtbaren Gebirgshängen jenseits der Wüste – oder umgekehrt. Gelegentlich brachen auf diesen Wanderungen ganze Herden vor Erschöpfung zusammen. Dann bedeckte der feine Staub allmählich die massigen Körper der Riesenreptilien mit ihren langen, leblosen Hälsen, bis keine Spur mehr von ihnen zu sehen war.

Es ist interessant zu beobachten, daß der fünfzehige Plateosaurierfuß bei der zweibeinigen Fortbewegung dieser Geschöpfe eine dreizehige Fußspur hinterließ, die der einiger legendärer Vögel entsprach. Das erklärt sich daraus, daß die Plateosaurier bei der Fortbewegung nur drei Zehen ihrer Hinterfüße auf den Boden aufsetzten. Jetzt wissen wir auch, woher die eingangs erwähnten geheimnisvollen, riesigen Fußabdrücke im Sandstein von Massachusetts stammen: offenbar von Prosauropoden, die dem Plateosaurus ähnlich waren, oder – was die kleineren Spuren betrifft, die man als die Fußabdrücke von Noahs Raben angesehen hatte – von den leichtfüßigen Chelurosauriern, die sich wie Laufvögel fortbewegten.

Das Leben im Jura

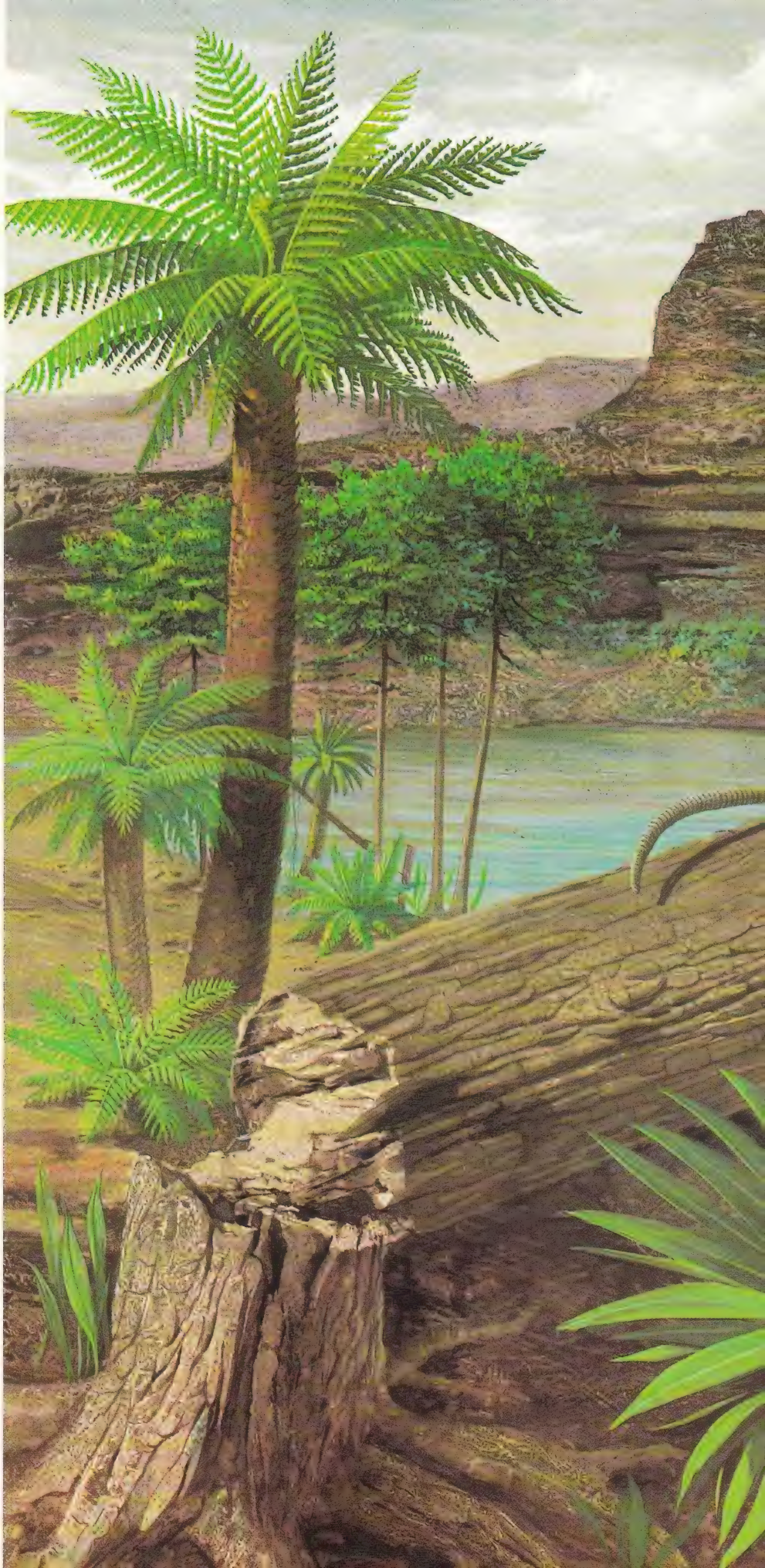
Die ersten Säugetiere

Mächtige Plateosaurier bewegten sich zwischen den säulenähnlichen Stämmen der Araukarien in den Wäldern gegen Ende der Trias. Während sie sich ihren Weg bahnten, werden sie wohl die jungen Nadelbäume geknickt und Farne entwurzelt haben. Sie beherrschten die Welt, in der sie lebten. Aber zu ihren Füßen wimmelte es bereits von Lebewesen, denen vorbestimmt war, später, in einer weit entfernten Zukunft, eine sogar noch größere Macht über die Erde zu erlangen. Es waren dies die ersten Säugetiere – die kleinen, hilflosen, verfolgten Parias in der Welt jener Zeit.

Ein typischer Vertreter war das *Morganucodon,* ein winziges Wesen von nur 10 cm Länge, ein Insektenfresser wie unsere heutige Spitzmaus. Seine Fossilienreste wurden in England, China und Südafrika gefunden. Dies zeigt, wie weit verbreitet dieses Tier war. Der äußeren Erscheinung nach ähnelte es ganz offenbar einer Maus, obwohl sein Kopf länglicher war.

Eine Reihe anderer winziger Lebewesen dieses Typs mit denselben Haupteigenschaften wurden in England und Südafrika gefunden. Unter ihnen befand sich das *Megazostrodon,* von dem ein vollständiges Skelett entdeckt wurde, zweifellos das älteste, vollständig erhaltene Säugetierskelett überhaupt.

Mit diesen und ähnlichen Lebewesen begann die Geschichte der Säugetiere, unauffällig und kaum wahrnehmbar. Die Säugetiere, die Lebewesen mit den außergewöhnlichsten Entwicklungsmöglichkeiten, die die Erde jemals angeboten hat, gehen zurück auf seltsame Therapsidenreptilien, welche in der Trias Formen entwickelten, die mit Haaren bedeckt waren und wahrscheinlich körperwarmes Blut besaßen. Aber sie wurden in eine Welt hineingeboren, die für sie noch nicht reif war, eine Welt, die von beschuppten Lebewesen mit schrecklichen Zähnen beherrscht wurde. So blieben sie winzig und unscheinbar unter der Herrschaft dieser Giganten. Sie blieben es das ganze Erdmittelalter hindurch, und erst sehr viel später, unter ganz anderen Bedingungen, begannen sie, ihre Entwicklungsmöglichkeiten zu entfalten und auszuspielen.



Während sich der Plateosaurus wie ein Gigant durch die Farne und Araukarien bewegte, suchten die ersten Säugetiere, hier das Morganucodon, nach einem geeigneten Versteck, in dem sie vor den mächtigen Reptilien sicher waren.

DI GIANCIO

Was wir über das Auftauchen der Säugetiere und ihre Entwicklung in der Zeit des Erdmittelalters wissen, ist begrenzt; es genügt jedoch für unsere Zwecke. Wir werden im nächsten Band dieser Serie in angemessener Weise darauf zurückkommen. Im Augenblick bleibt unsere Geschichte den Reptilien und ihrer Zeit verpflichtet. Wir übergehen daher diese kleinen Neuankömmlinge als bedeutungslos im Zusammenhang mit den ökologischen Verhältnissen in jenen Zeiten. Das einzige, was wir festzuhalten haben, ist diese eine unvergleichliche Tatsache in der Geschichte des Lebens: daß die Säugetiere erstmals mitten in der Trias erschienen.

Das Auseinanderbrechen von Pangäa im Jura

In der Trias entstanden die Dinosaurier und verbreiteten sich über ganz Pangäa. In der darauffolgenden Periode vermehrten sie sich stark und erreichten ihre Glanzzeit. Diese Periode, der *Jura,* dauerte rund 60 Millionen Jahre. Sie begann vor 195 Millionen Jahren und endete vor 135 Millionen Jahren. Am Ende des Juras war unser Planet in einem bisher nie gekannten Ausmaß von tierischem und pflanzlichem Leben bevölkert.

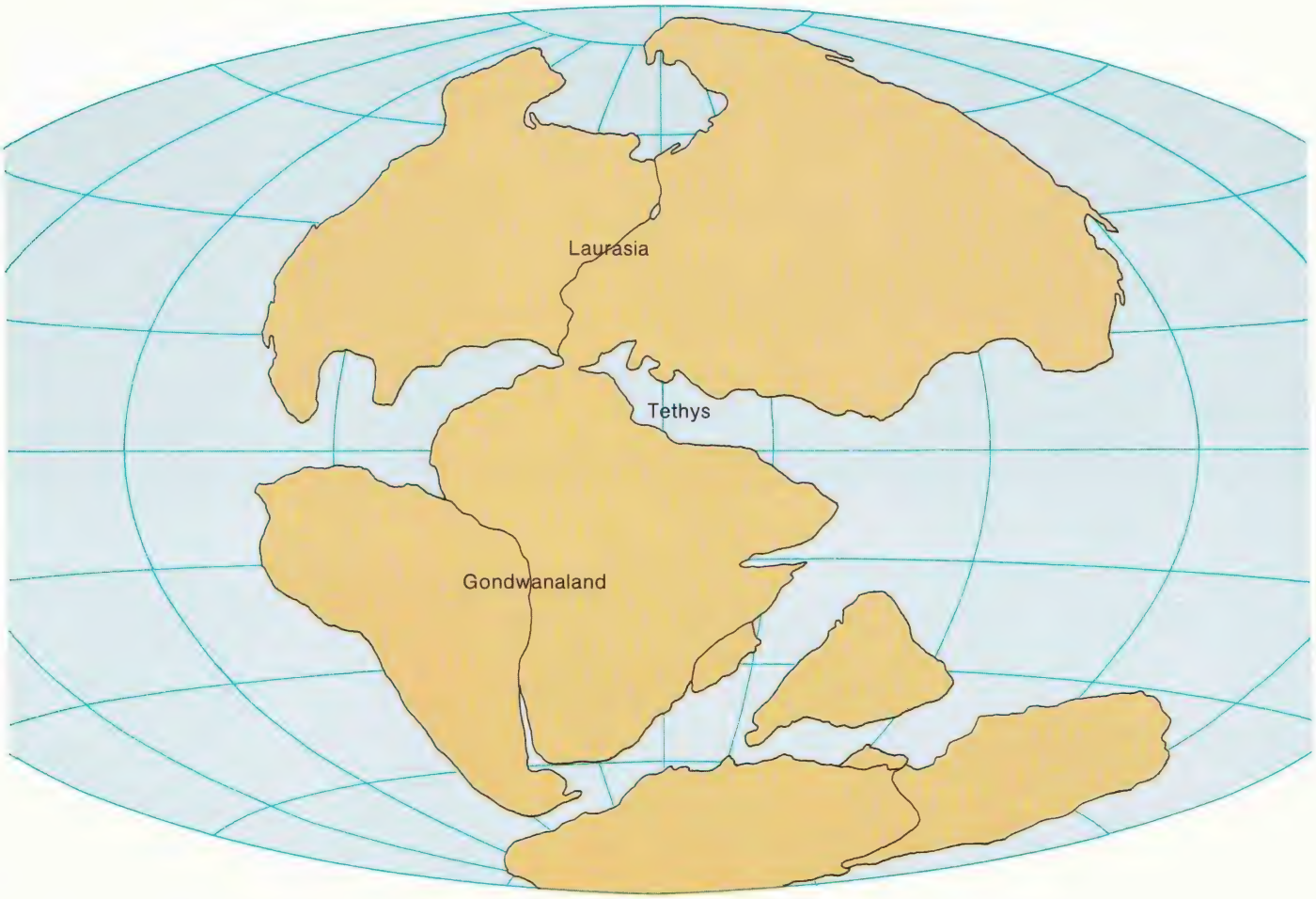
Wir werden im nächsten Kapitel sehen, was aus der Welt der Dinosaurier geworden ist. Jetzt aber wollen wir versuchen, uns die Erde des Juras mit ihren Organismen, die sie damals in solcher Vielfalt besiedelten, zu vergegenwärtigen.

Zu jener Zeit brach Pangäa vollständig auseinander. Strukturschwächen in der Erdkruste, die in der Trias begonnen hatten sich auszubilden, entwickelten sich jetzt beschleunigt weiter, so daß sich mächtige Landblöcke von diesem Urkontinent abtrennten. Es gibt heute darüber eine Reihe von weithin akzeptierten Hypothesen. Diesen zufolge scheinen die Antarktis, Australien und Indien von Gondwanaland durch tiefe Meereseinbrüche getrennt worden zu sein, während die nördlichen Gebiete der Pangäa mit dem Gondwanaland nur durch eine ziemlich schmale Brücke zwischen Spanien und Nordafrika verbunden blieben. Die Situation hatte sich gegen Ende des Juras nicht wesentlich geändert. Allerdings erlitt der verbleibende Kontinentalblock von Gondwanaland einen weiteren schweren Schlag: Ein tiefer Einbruch, der später den Südatlantik bilden sollte, entwickelte sich in dessen Mitte.

Während des Juras lebten zahlreiche Ammoniten im Meer. Diese Aufnahme zeigt ein vollkommen erhaltenes Exemplar aus Juraschichtungen in England. Die Lobenlinien, die an der ganzen Spirale entlanglaufen, sind besonders klar zu erkennen.

All diese tiefgreifenden Entwicklungen waren natürlich auf der Erdoberfläche kaum wahrzunehmen. Sie brachen nicht zerstörerisch in die Welt der Lebewesen ein, sondern beeinflußten lediglich die geographische Verteilung der Organismen. Damals waren ja fast alle Länder, die wir heute kennen, noch miteinander verbunden. Dies erklärt die Tatsache, daß Fossilien einiger Lebewesen in den Juraschichten fast jeden Teils der Erde zu finden sind.

Die am dichtesten von Lebewesen bevölkerten Teile Europas und Amerikas lagen weiterhin zu einem großen Teil entlang des Äquatorstreifens. Darum findet man dort leicht Versteinerungen von Lebewesen aus dem Jura, die typisch für ein warmes Klima sind. Das Klima nämlich war über die ganze Erde hin entweder warm oder temperiert, weil die Poleiskappen noch fehlten. Es gab zwar auch noch Wüsten wie im Perm und in der Trias, aber diese waren jetzt weit weniger ausgedehnt. Das kam daher, daß das Vorrücken flacher Gewässer über weite Kontinentalbereiche hin eine allgemeine Feuchtigkeit erzeugt hatte. Und dies wiederum schränkte die ausgeprägt kontinentalen Züge im Klima vorangegangener Epochen beträchtlich ein.



Meeresleben im Jura; das Meerkrokodil

Im Jura verursachte der Einbruch der Ozeane in die Kontinente zahlreiche tiefgreifende Umweltveränderungen. Immer wieder kam es dazu, daß große Reptilien des offenen Meeres über Bereiche dahinschwammen, die zuvor Wüsten oder Wälder gewesen waren. Durch diese „Übergriffe" des Meeres auf das Land kennen die Wissenschaftler weit mehr Einzelheiten über Meeresorganismen dieser Periode als über entsprechende Landlebewesen. So mögen zwar unsere Kenntnisse über den Dinosaurier des Juras in mancherlei Hinsicht eindrucksvoll oder in Einzelfragen sogar umfassend erscheinen, sie sind aus den genannten Gründen jedoch immer noch recht begrenzt. Tatsächlich liefert uns die Paläontologie nur wenig Anschauungsmaterial aus dieser Zeit für eine umfassende Rekonstruktion der Welt der Dinosaurier. Wir kennen nur einen äußerst kleinen Teil dessen, was damals wirklich vorhanden war.

In den Meeren, wo die Grenzen nicht festlagen, gab es ein reiches Tierleben. Unzählige Schwärme von *Ammoniten* aller Arten trieben auf den Wellen, zusammen mit anderen Kopffüßern, den *Belemniten* (die unseren heutigen Kraken ähnelten und deren Gehäuse hinten in ein längliches, kegelförmiges, massives Rostrum, den „Donnerkeil", auslief). Fische mit leuchtenden Farben schwärmten über die Korallenriffe, und überall schwammen und jagten die noch etwas primitiven Knochenfische mit ihren kräftigen, glänzenden Schuppen durch das Wasser.

Kartographische Darstellung der Erde, wie sie am Ende der Trias und am Anfang des Juras aussah. Pangäa brach allmählich auseinander, aber es gab immer noch zwei große Landmassen: den nordatlantischen Kontinent und die Afrika-Südamerika-Verbindung.

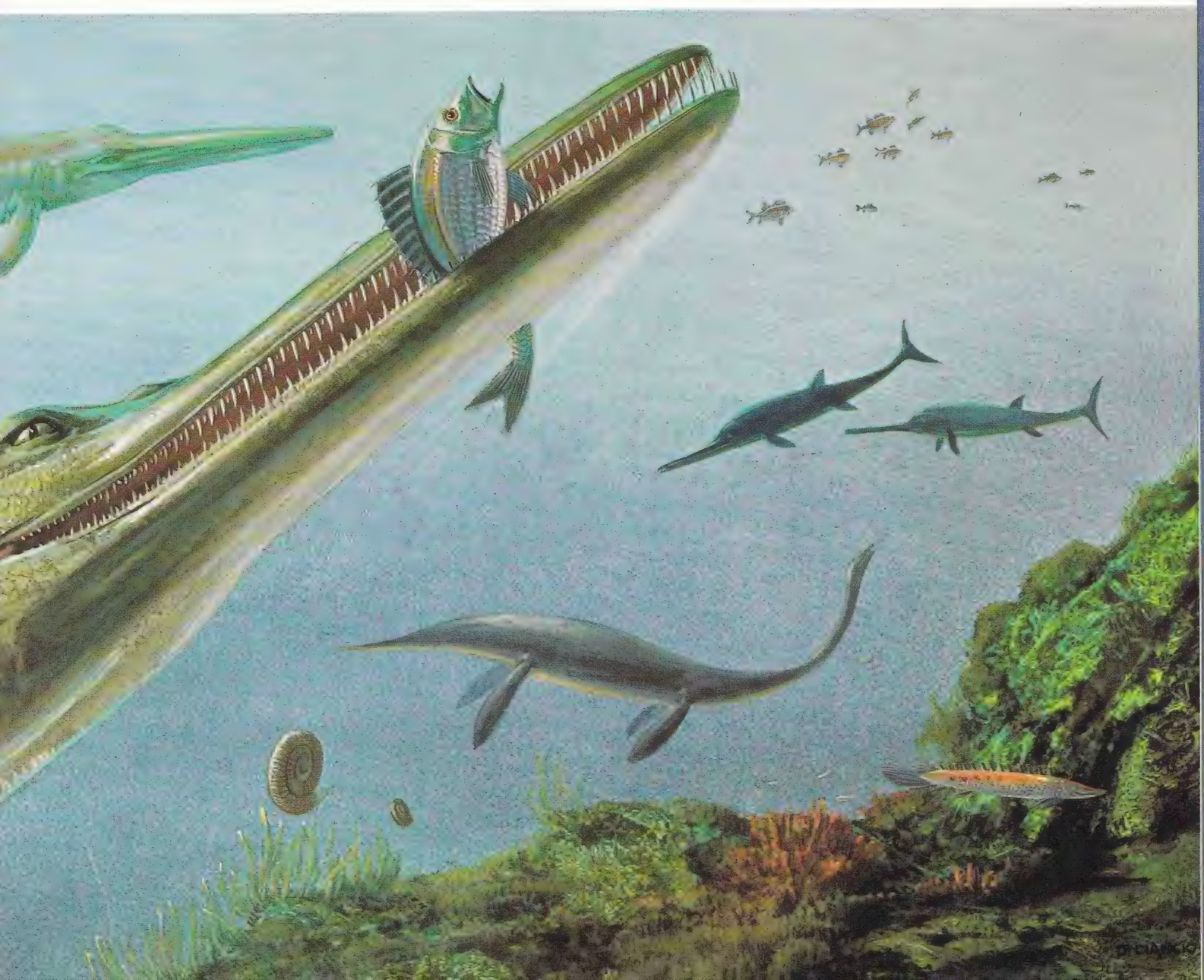
Rechte Seite, oben: Der Schädel eines Steneosaurus, eines Meerkrokodils aus den Juraschichtungen in Bayern. Dieser fossile Schädel ist 75 cm lang.

Unter diesen Wasserbewohnern befanden sich auch Haie und Rochen, obschon zahlenmäßig weit weniger als in unseren heutigen Meeren.

Herrscher in dieser Wasserwelt waren aber ganz eindeutig die Reptilien, wie z. B. die *Meerkrokodile.* Nach ihrem Auftauchen in der oberen Trias drangen diese mächtigen Raubtiere vom Land aus in die Flüsse ein und hatten bald die Flußmündungen und Lagunen der Küste erreicht. Später ließen sie sich im offenen Meer nieder, wo sie sich teilweise durchsetzten und entsprechende Veränderungen durchmachten: Manche Meerkrokodilarten behielten ihre Krokodilgestalt bei, während andere sie allmählich verloren und mehr und mehr wie die Wale oder Ichthyosaurier aussahen. Da die Meerkrokodile beim Schwimmen nur ihren Schwanz und ihre Hinterbeine benutzten, verkümmerten bei beiden Gruppen durch ihren Daueraufenthalt im Wasser und bedingt durch Selektionsvorgänge die Vorderbeine allmählich.

Unten: Rekonstruktion einiger Meeresreptilien im Jura. Im Vordergrund befindet sich ein Geosaurus, der bis 4,5 m lang wurde.

Die erste Gruppe wurde durch die *Teleosaurier* vertreten, Lebewesen, die manchmal gigantische Ausmaße annahmen: mit langer, spitzer Schnauze wie der heutige Gangesgavial. Sie waren durch eine Reihe von


D. CIARCIA

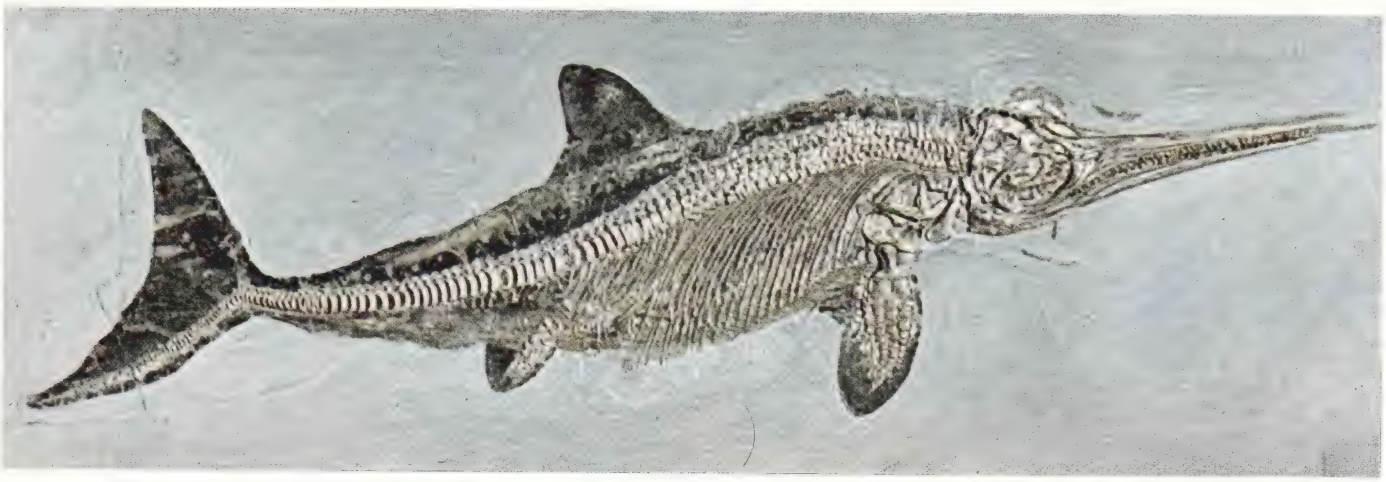
großen, knöchernen Platten auf dem Rücken und kleineren polygonalen Platten auf dem Bauch stark gepanzert. Eine Art, der *Steneosaurus (Mystriosaurus)* war in Europa, Afrika und Südamerika weit verbreitet. Einige prachtvolle Fossilienstücke dieses Tiers wurden in bayerischen Gebirgsteilen Deutschlands entdeckt.

Die zweite Gruppe, die viel stärker an das Wasser angepaßt war und auch später erschien, umfaßte Lebewesen wie den *Geosaurus,* der eine glatte, glänzende Haut wie der Delphin besaß und dessen Gliedmaßen in Flossen umgewandelt waren.

Alle diese Lebewesen hatten die ökologischen Nischen inne, die heute von räuberischen Walen wie dem Mörderwal besetzt sind. Aber in diesen Nischen gab es damals schon unerbittliche Kämpfe zwischen ihnen und ihren Feinden, den Ichthyosauriern und Plesiosauriern.

Die Funde von Lyme Regis

Entlang der Südküste Englands, zwischen Devon und Dorset, liegt eine große Bucht, die Lyme Bay. Dort ragen Schichtungen aus der Jurazeit in den Kanal hinein und bieten jedem Fossilienjäger ein ideales Jagdgelände. Besonders gut bekannt ist in dieser Hinsicht die kleine Stadt Lyme



Ein Exemplar des Stenopterygius quadriscissus, eines Ichthyosaurus aus Schichtungen des unteren Juras in Bayern. Außer dem vollkommen erhaltenen Skelett zeigt die Versteinerung den schwarzen Fischkörper im Profil, der sich deutlich von der Schieferplatte abhebt.

Regis. In ihrer Nähe sind die sich abwechselnden Kalkstein- und Lehmschichtungen aus dem unteren Jura der unablässigen Erosionswirkung der Wellen ausgesetzt, so daß immer wieder die Fossilienreste uralter mariner Tiere zutage treten. Genau hier, bei Lyme Regis, wurde das erste vollständige Ichthyosaurierskelett gefunden; auch Exemplare von Plesiosauriern und Pterosauriern kamen ans Tageslicht. Seltsamerweise wurden diese Entdeckungen nicht von einem Wissenschaftler gemacht, sondern von einem kleinen englischen Mädchen namens Mary Anning.

Mary Anning half ihrem Vater oft bei der Suche nach Fossilien, die sie während der Sommermonate an Touristen verkaufen konnten. Dies war am Anfang des letzten Jahrhunderts, als Ichthyosaurier noch unbekannt waren und noch keiner ihre Fossilienreste untersucht hatte, obwohl es in verschiedenen Orten schon einige Funde gab. Eines schönen Tages im Jahre 1810 entdeckte Mary Anning (die damals erst 11 Jahre alt war) das

Die „Meerdrachen", wie sie sich T. H. Hawkins vorgestellt hat.

erste vollständige, vollkommen erhaltene Ichthyosaurierskelett. Ihr Fund war eine naturwissenschaftliche Sensation, da bis zu dieser Zeit kein Mensch geahnt hatte, daß es jemals solche Wesen auf der Erde gegeben hatte.

Später, im Jahre 1821, fand Mary Anning den ersten Plesiosaurus und im Jahre 1828 den ersten Pterosaurus. Diese Entdeckungen lösten grenzenlose Begeisterung und Erregung aus – wie einige Jahrzehnte später die Entdeckung des Dinosauriers – und regten einige einfallsreiche und phantasievolle Rekonstruktionen an. Ein Enthusiast, der sich auf prähistorisches Leben spezialisiert hatte, T. H. Hawkins, veröffentlichte 1840 das „Book of the great Sea-Dragons". Dieses Buch enthielt die Darstellung einer Schlacht zwischen Ichthyosauriern und Plesiosauriern, auf der beide mit imaginären Kämmen bewaffnet und von widerlich aussehenden Pterosauriern umgeben waren (die Pterosaurier hielt man für Aasfresser wie die Geier).

Die meerbeherrschenden Ichthyosaurier

Wir kennen die *Ichthyosaurier (Fischechsen)* bereits aus früheren Kapiteln dieses Bandes. Seit der Trias waren sie im Meer weit verbreitet und hatten sich vollkommen an das Leben im Wasser angepaßt. Dies ist nach der Form ihrer Skelette allerdings nicht eindeutig; entsprechend waren die Rekonstruktionen dieser Tiere ungenau und unzulänglich ausgeführt, bevor vollkommene Abdrücke von Ichthyosauriern gefunden wurden. Niemand konnte sich vorstellen, daß sie einen umgekehrt-heterozerken (hypozerken) Schwanz hatten, wie wir ihn bereits weiter vorn erwähnten. Man glaubte vielmehr, daß die nach unten gerichtete Neigung der Schwanzwirbel auf eine Verletzung zurückzuführen sei. So begradigten die „Möchtegernrekonstruierer" den Schwanz eilfertig, so daß er schließlich aussah wie der Schwanz eines Krokodils.

Den Körperbau der größeren „Meeresdrachen" verstand man erst genauer gegen Ende des letzten Jahrhunderts, und zwar durch einen Zufall. Ein Wissenschaftler war dabei, das Skelett eines Ichthyosauriers auf der Steinplatte, auf der man es gefunden hatte, zu reinigen, und stieß dabei zufällig eine Flasche Wasser um, die sich sofort über die Platte ergoß. Und siehe da, unter den erstaunten Augen des Wissenschaftlers erschienen die Konturen eines großen Schwanzes und einer großen Rückenflosse, die man beide in diesem Zusammenhang niemals vermutet hatte. Das Skelettexemplar stammte aus Bayern, wo berühmte Steinbrüche viele vollständige Exemplare von Ichthyosauriern freigaben. Seit dieser Zeit wurden dort immer wieder neue Ichthyosaurierskelette ausgegraben, so daß der Umriß ihrer Körper nunmehr genau bekannt wurde. Diese Versteinerungen sind erstaunlich: Wenn man sie betrachtet, hat man den Eindruck, Lebewesen vor sich zu haben, die gerade eben erst verstorben sind.

Die Durchschnittslänge der Ichthyosaurier des Juras schwankte zwischen 1,50 und 4,50 m. Es gab allerdings auch Riesen unter ihnen wie den *Leptopterygius,* der bis 12 m lang werden konnte. Sie alle waren nicht nur an das Leben im offenen Meer angepaßt, sondern sie ertrugen auch längere Tauchperioden in beträchtlichen Tiefen. Aus diesem Grund umgab in der Sklera (Lederhaut) ihrer großen Augen ein Ring aus Knochenplatten die Pupille, die den Augapfel vor dem gewaltigen Druck des Wassers schützten.

Ihre Skelettstruktur zeigt auch, daß sie gewandte, schnelle Schwimmer waren. Sie waren ferner mit scharfen Zähnen ausgerüstet. In einigen Fällen allerdings, wie z. B. beim *Ophthalmosaurus,* der sich an eine besondere Kost, die ausschließlich aus Kopffüßern bestand, gewöhnen mußte, verloren sie im Laufe der Entwicklung ihre Zähne; aber dies kam sehr selten vor. Nach den Nahrungsresten zu urteilen, die man zwischen den Rippen der Fossilien fand, ernährten sich die Ichthyosaurier im übrigen von Kopffüßern und Fischen.

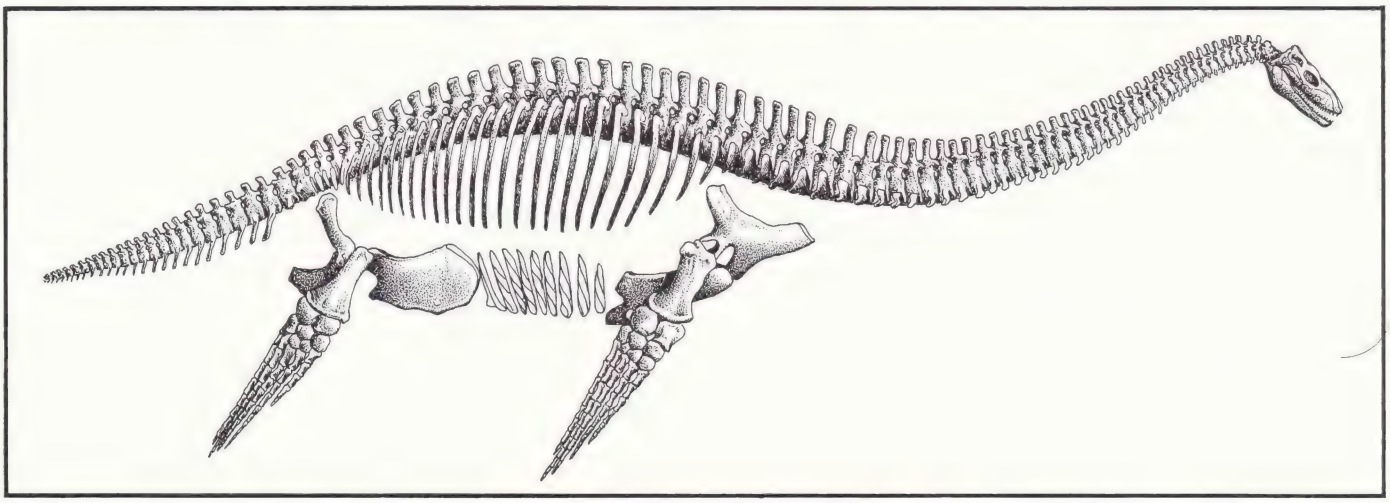
Lebewesen dieser Art waren natürlich völlig außerstande, jetzt noch an Land zu steigen, und sei es nur einen Augenblick lang. Sie konnten daher nicht einmal zur Eiablage auf die sandigen Strände kriechen, wie dies die Teleosaurier und die Geosaurier ohne Zweifel taten. Wir müssen also annehmen, daß sie ihre Jungen im offenen Meer zur Welt brachten und daß diese dann von Geburt an schwimmfähig waren. Die Platten aus den berühmten bayrischen Steinbrüchen bestätigen durchweg diese Vermutung. Auf diesen Platten fand man weibliche Ichthyosaurier, die ihre Jungen, vollkommen ausgebildet, noch im Leib trugen. In einem Fall fand man sogar ein Weibchen, das entweder kurz vor oder kurz nach der Geburt stand, in einem anderen Fall eines, das gerade gebären wollte.

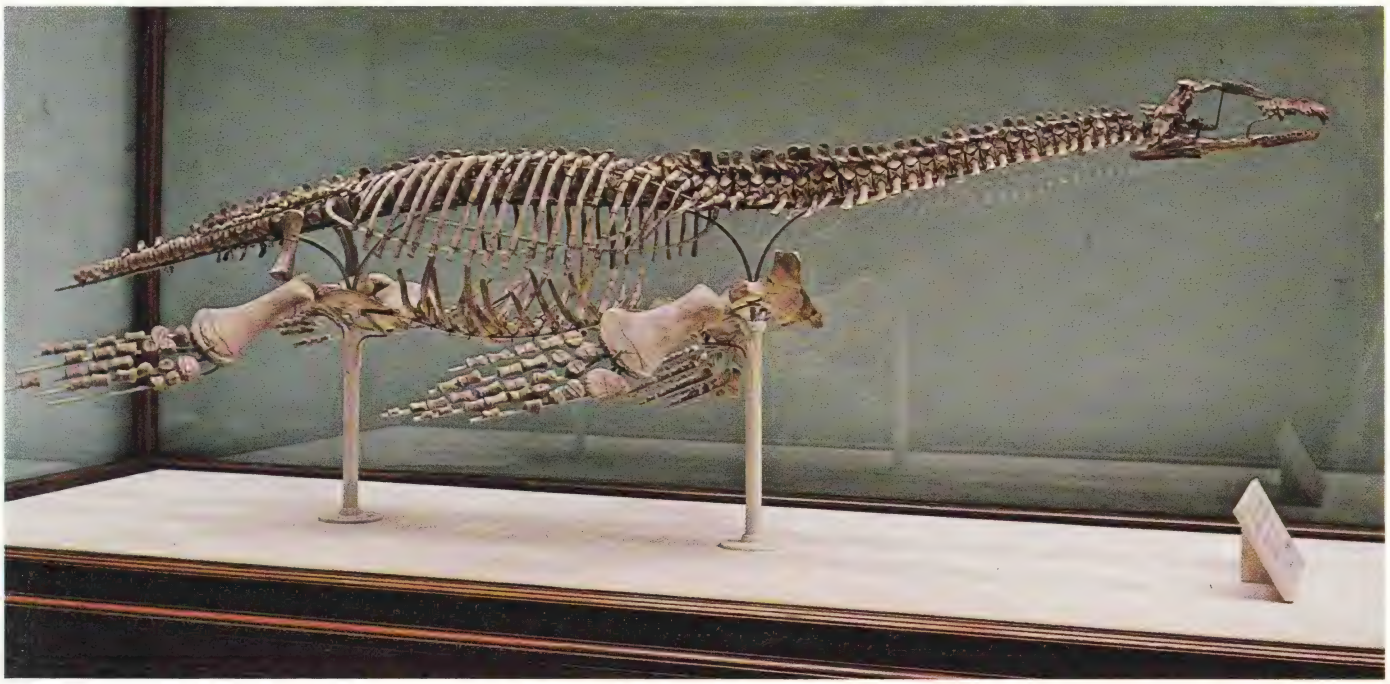
Rechte Seite: Darstellung der Ichthyosaurier in ihrer natürlichen Umwelt, dem offenen Meer. Schwärme dieser Reptilien bevölkerten die Meere des Juras, die reich an Nahrung waren. Die gefräßigen Räuber und schnellen Schwimmer mit der hydrodynamischen Körperform ähnelten den heutigen Delphinen. Ihre Durchschnittslänge betrug ungefähr 3 m; es gab jedoch auch Riesen unter ihnen, die bis zu 12 m lang werden konnten.

Die paddelfüßigen Plesiosaurier

Die *Plesiosaurier* stammten von den Nothosauriern ab, die bereits im Zusammenhang mit der Trias beschrieben wurden. Sie waren an das Leben im Wasser erheblich besser angepaßt als ihre Vorfahren und wetteiferten mit Ichthyosauriern und Meerkrokodilen um die Herrschaft der Meere des Juras. Körperlich ähnelten die Plesiosaurier den Nothosauriern. Allerdings war ihr Hals im allgemeinen erheblich länger, und ihre Gliedmaßen waren paddelähnlich umgestaltet, vergleichbar den Vorderfüßen einer Seeschildkröte. Es ist jedoch charakteristisch, daß sich bei der Seeschildkröte nur zwei ihrer Füße derartig an das nasse Element angepaßt haben, während bei den Plesiosauriern alle vier von dieser Umgestaltung betroffen waren.

Der Plesiosaurus muß tatsächlich ein merkwürdiges Tier gewesen sein – mit seinem kleinen Echsenkopf, seinem äußerst beweglichen Hals



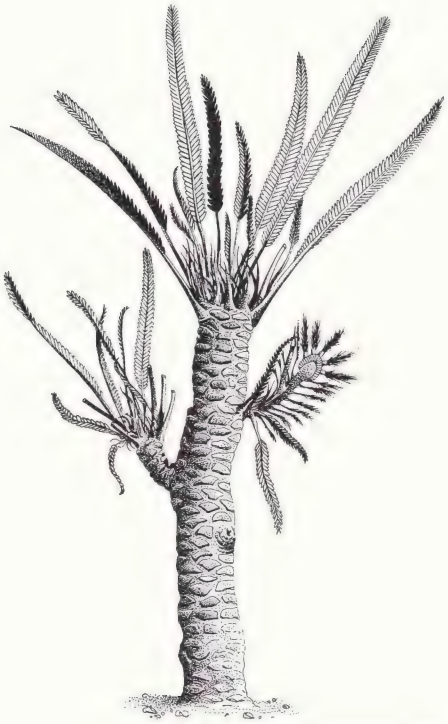


und seinem breiten Körper, der von oben nach unten hin gleichsam wie zusammengepreßt erschien. Die Fisch- oder Delphinform des Ichthyosauriers wirkt weniger erstaunlich. Der Plesiosaurier dagegen scheint allen Normen Hohn zu sprechen. Insbesondere der kurze, zugespitzte Schwanz wirkt bei einem Seelebewesen sonderbar. Tatsächlich hatte es im frühen Jura die Andeutung einer Schwanzentwicklung gegeben. Einige wenige Plesiosaurier entwickelten Flossen im Bereich der Schwanzspitze; aber dies blieb eine Episode. So ist es klar, daß die einzigen Antriebsorgane der Plesiosaurier ihre Füße gewesen sein müssen, welche die ganze Zeit hindurch, während die Plesiosaurier im Wasser lebten, ihre Umbildung beibehielten. Die Tiere müssen sich etwa in der Art einer Schildkröte von heute fortbewegt haben, wenn sie auch beim Schwimmen offenbar schneller und leistungsfähiger waren.

Linke Seite, oben: Das Skelett eines riesenhaften, langhalsigen Plesiosauriers, des Muraenosaurus aus dem oberen Jura in England. Dieses Tier war über 6 m lang.

Linke Seite, unten: Das Skelett eines Cryptocleidus oxoniensis, eines Plesiosauriers aus dem oberen Jura in England.

Unten: Seeschildkröten heute. Aus dem Verhalten des Weibchens, das das Meer verläßt, um seine Eier auf dem Festland abzulegen, können wir Rückschlüsse auf das Verhalten der weiblichen Plesiosaurier im Jura ziehen.



Zeichnung eines Vertreters der Bennettitales, Williamsonia sewardiana, aus Juraschichtungen in Indien. Pflanzen dieser Art waren im Jura weit verbreitet.

Im Unterschied zu den Ichthyosauriern, die sich in allen Meeren der Erde ausgebreitet hatten, scheinen sich die Plesiosaurier im Jura nicht sonderlich weit verbreitet zu haben. Exemplare von Plesiosauriern aus dem Jura wurden in Europa, Asien und Grönland gefunden. In den auf den Jura folgenden Schichtungen allerdings wurden Fossilien des Plesiosaurus überall gefunden. Dies ist ein beredtes Zeugnis ihrer Leistungsfähigkeit und ihres Entwicklungspotentials.

Die Paläontologen haben die verschiedenen Formen der Plesiosaurier in zwei systematische Gruppen unterteilt: die *Echten Plesiosaurier* und die *Pliosaurier*. Die ersteren hatten einen sehr langen Hals und einen kleinen Kopf, die letzteren einen relativ kurzen Hals und einen großen, in die Länge gezogenen Kopf. Die Länge der ersteren schwankte zwischen 3 m und gelegentlich riesigen Ausmaßen wie beim *Muraenosaurus* (oberer Jura in England), der 6,30 m groß wurde. Im allgemeinen waren die Pliosaurier größer, so z. B. der *Stretosaurus* (ebenfalls oberer Jura in England) mit 12 m Länge.

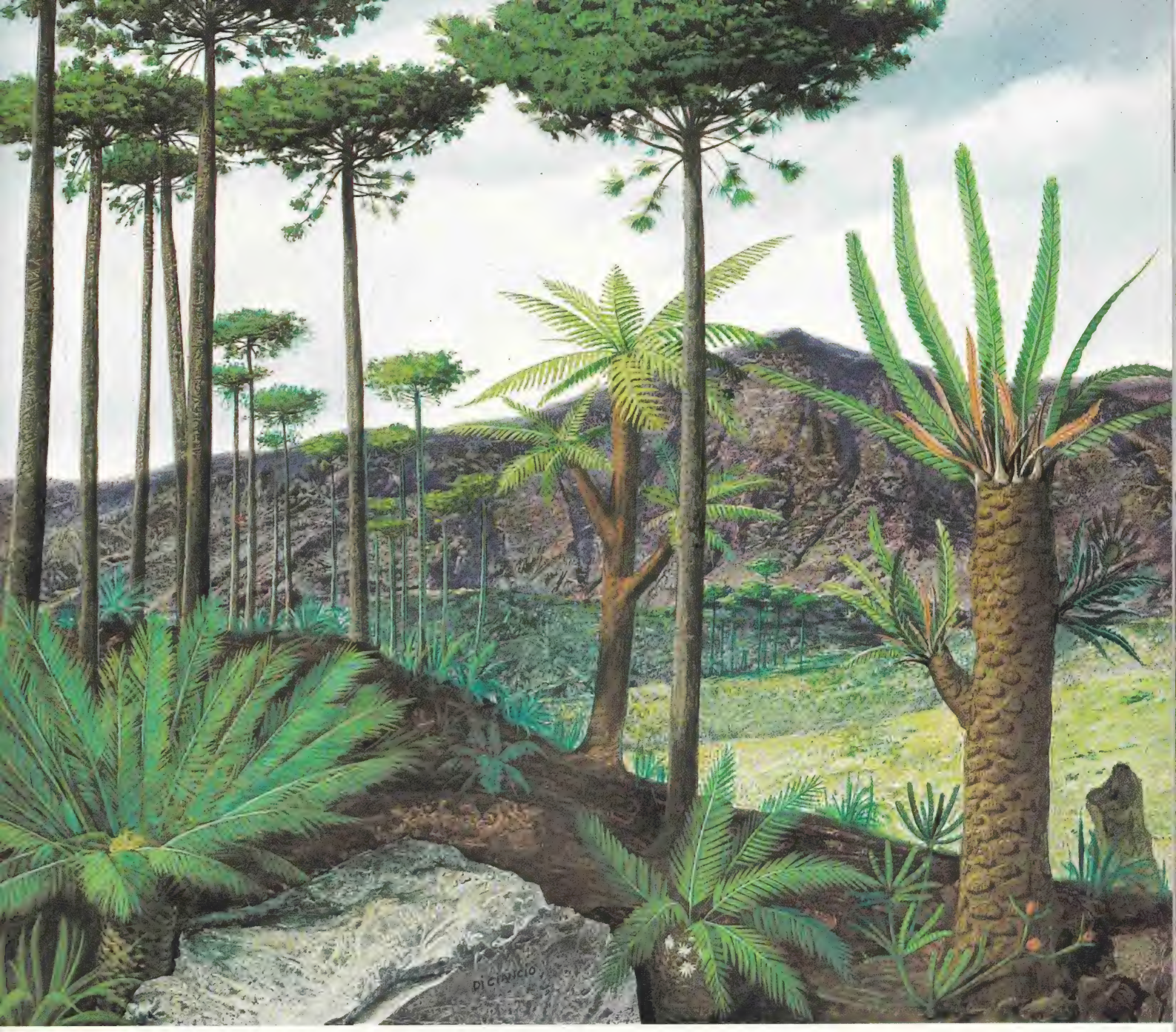
Diese Reptilien waren gefräßige Raubtiere und verschlangen ohne jeden Unterschied Fische und Kopffüßer, wie wir dank ihrer Fossilien wissen. Sie müssen eierlegende Tiere gewesen sein und ihre Eier an flachen Stränden abgelegt haben, so daß sich diese dann im warmen Sand entwickeln konnten. Auf Grund ihres Körperbaus waren die Plesiosaurier im Vergleich zu den Seehunden und Seeschildkröten unserer Zeit auf den trockenen Stränden nur wenig beweglich. Sie lebten vermutlich gewöhnlich in den seichteren Gewässern entlang den Küsten, von wo aus sie gelegentlich auch aufs feste Land gehen konnten, und überließen das offene Meer gänzlich den Ichthyosauriern.

Das Landleben im Jura

Wir wissen jetzt einiges über das Leben im Wasser während des Juras. Wir können uns vielleicht auch vorstellen, wie es in den alten Korallenmeeren ausgesehen hat: ein intensiv blaues Wasser unter einer heißen Sonne, bevölkert von Schwärmen leuchtend gefärbter Ammoniten, die auf den funkelnden Wellen dahintrieben, darunter hin- und herflitzende Fische und zwischen einer Welle und der nächsten die schwimmenden Körper der großen Seedrachen bei der Verfolgung ihrer Beute.

Wir wollen uns jetzt den Ereignissen auf dem festen Land zuwenden. Während des Juras erstreckten sich weite Nadelwälder über das aus dem Meer aufgetauchte Land, reich bewachsen mit Araukarien, Tannen und Zypressen. Auch die ersten Mammutbäume erhoben ihre riesigen Stämme himmelwärts. Außerdem gab es Palmfarne (Zykadeen), riesige Farne und in den Sümpfen Schachtelhalmgewächse, die unseren heutigen Schachtelhalmen ähnlich waren. Unter den heute ausgestorbenen Pflanzen aber dominierten die gedrungenen, vielfältig durch Verzweigung unterteilten Stämme der Bennettitales. Sie waren die Vorläufer der ersten blühenden Pflanzen, die bereits einen allerersten unscheinbaren Auftritt gehabt hatten.

In den Wäldern und Steppen gab es Legionen von Spinnentieren und Insekten. Die Wirbeltiere waren den Wirbellosen überlegen und sahen bedeutend anders aus als die Tiere in der Trias. Nicht mehr vertreten waren die gigantischen Stegozephalen. An ihre Stelle waren kleine Amphibien getreten, die den kleineren Amphibien von heute ähnelten. Die großen alten Ordnungen der Reptilien waren entweder bereits verschwunden oder starben jetzt aus, und die wenigen die übriggeblieben waren, machten sich sehr bescheiden aus. Allerdings bildeten die



Die Bennettitales, palmfarnartige Nadelbäume in ihrer Juraumgebung.

Archosaurier, die Dinosaurier, die Krokodile und Pterosaurier eine besondere Ausnahme. Neben diesen alles andere überragenden Lebewesen waren die Tetrapoden und die kleineren urtümlichen Säugetiere zahlenmäßig bedeutungslos.

Wir haben gesehen, daß schon in der Trias die Thekodontier mit ihren Nachfahren, den Zölurosauriern und Karnosauriern, um ein und dieselbe ökologische Nische kämpften. Die letzteren waren hoch entwickelt und mächtig. So starben die Thekodontier gegen Ende der Trias aus und ließen die Dinosaurier ohne unmittelbare Rivalen zurück, da ja die Krokodile auf das Wasser und die Pterosaurier auf die Luft beschränkt waren. So war der Weg für die Herrschaft dieser Riesenechsen frei, und sie konnten sich die Erde untertan machen.

Das Riesenskelett eines Brontosaurus (oben) mit seinem fossilen Fußabdruck (rechts); zu sehen im Museum of Natural History in New York.

Gigantische Sauropoden und aggressive Theropoden

Ein berühmtes Brontosaurierskelett

1898 entdeckte der amerikanische Paläontologe Walter Granger mitten in den Rocky Mountains, in Wyoming, eine enorme Anzahl fossiler Knochen. Er wußte sofort, daß er die Knochen eines Brontosauriers vor sich hatte. Granger war vom Museum of Natural History in New York beauftragt worden, den „Dinosaurierfriedhof" zu finden, und hatte dabei das große Glück, eine an fossilen Knochen besonders reiche Gegend in der Nähe des Medicine Bow River in Südwyoming zu entdecken. Was hier an Fossilienresten offen zutage lag, war so immens, daß ein Hirte früher einmal daraus das Fundament seiner Hütte errichtet hatte. Und an eben dieser Stelle fand Granger schließlich auch eines der schönsten Skelette, das im New Yorker Museum gezeigt wird.

Die vollständige Ausgrabung dauerte sechs Monate. Fast alle Knochen wurden mit ihrer Steinhülle eingesammelt und sorgfältig für die Beförderung nach New York verpackt, wobei natürlich allerlei Probleme zu überwinden waren. Als es dann sicher war, daß kein Teil des Brontosauriers auf dieser Fundstelle am Medicine Bow River zurückgeblieben war, konnte das Expeditionsteam endlich auch wieder nach Hause fahren. Dort wartete dann die härteste aller Aufgaben auf sie: die Rekonstruktion des gigantischen Skeletts.

Das Personal des Museums arbeitete zwei mühsame Jahre lang, um zunächst die zerbrechlichen Knochen aus dem Felsgestein, in das sie eingebettet waren, herauszulösen und anschließend zu härten, damit sie jeder weiteren menschlichen Manipulation standhielten. Dann gab es das Problem, die verschiedenen Teile auf dem eisernen Gerüst, das später das Skelett tragen sollte, zusammenzufügen und anzuordnen. Einige der Knochen waren äußerst schwer. So wog z. B. ein einziger Oberschenkelknochen mehr als 200 kg. Aber damit nicht genug: Damals waren noch nicht so viele Details über die großen Sauropoden bekannt, so daß die richtige Zusammenfügung der einzelnen Knochen ein fast aussichtsloses Unterfangen zu sein schien.

Wieder vergingen vier Jahre. Die beiden Paläontologen Matthew und Granger studierten und untersuchten eine große Anzahl von Knochen rezenter Reptilien, um herauszufinden, wie die Gliedmaßen gebaut und

gegliedert waren. Dann versuchten sie sich im Zusammensetzen. Dabei fügten sie an den Stellen, an denen die Muskeln gelegen haben mußten, ersatzweise Papierstreifen ein und prüften anschließend nach, ob nun die Knochen korrekt arrangiert waren.

Im Jahre 1905 endlich war diese immense Aufgabe gelöst. Heute beherrscht das Skelett des gigantischen Brontosauriers, vollkommen in all seinen Teilen, durch seine gewaltige Größe die „Halle der frühen Dinosaurier" im vierten Stock des Museum of National History in New York, aufgebaut zwischen zwei eindrucksvollen Saurischiern, einem Allosaurier und einem Stegosaurier.

Der Brontosaurus oder die „Donnerechse"

Die Fossilienreste von *Brontosauriern,* die von Marsh, Granger und anderen Wissenschaftlern entdeckt wurden, entstammten einer Reihe von Schichtungen, die in einem Kontinentalbereich von Nordamerika während des späten Juras und der frühen Kreidezeit durch Ablagerung entstanden waren. Diese Schichtungen, die sich von Montana im Norden bis Neumexiko im Süden und nach Utah im Osten erstreckten, sind als *Morrison-Formation* bekannt geworden; sie sind nach dem Ort Morrison in Colorado benannt. In der Morrison-Formation liegen die großen „Dinosaurierfriedhöfe".

Die Schichten der Formation sind aus Sedimenten gebildet, die von Schlamm und Schutt der Seen, Sümpfe und gewaltigen Flüsse stammen, die einst vor 150 Millionen Jahren unzählige Reptilien beherbergten. Die bedeutendsten unter all diesen Fossilienresten sind ohne Zweifel die der riesigen *Sauropoden,* „echsenfüßiger" Saurischier mit schwanenähnlichem Hals und einem vergleichsweise kleinen Kopf. Sie hatten in regelrechten Herden im Wasser zusammengelebt.

Am bemerkenswertesten unter diesen sagenhaften Tieren war der *Brontosaurus.* Sein aus griechischen Wörtern gebildeter Name, der von dem Paläontologen Marsh vorgeschlagen wurde, bedeutet wörtlich „Donnerechse". Man braucht wirklich keine allzu große Phantasie, um sich vorzustellen, daß die Erde unter den Schritten dieses Tiers gebebt und „gedonnert" hatte. Der Brontosaurus war über 21 m lang und muß um die 30 t gewogen haben. Er hatte einen sehr langen Hals, einen relativ kleinen und kurzen Kopf und einen besonders spitz zulaufenden Schwanz, der einer Peitsche ähnelte. Im Gegensatz dazu war der Körper kurz und kräftig.

Ein Sauropodenei aus der Kreidezeit, gefunden in Montpellier (Frankreich).

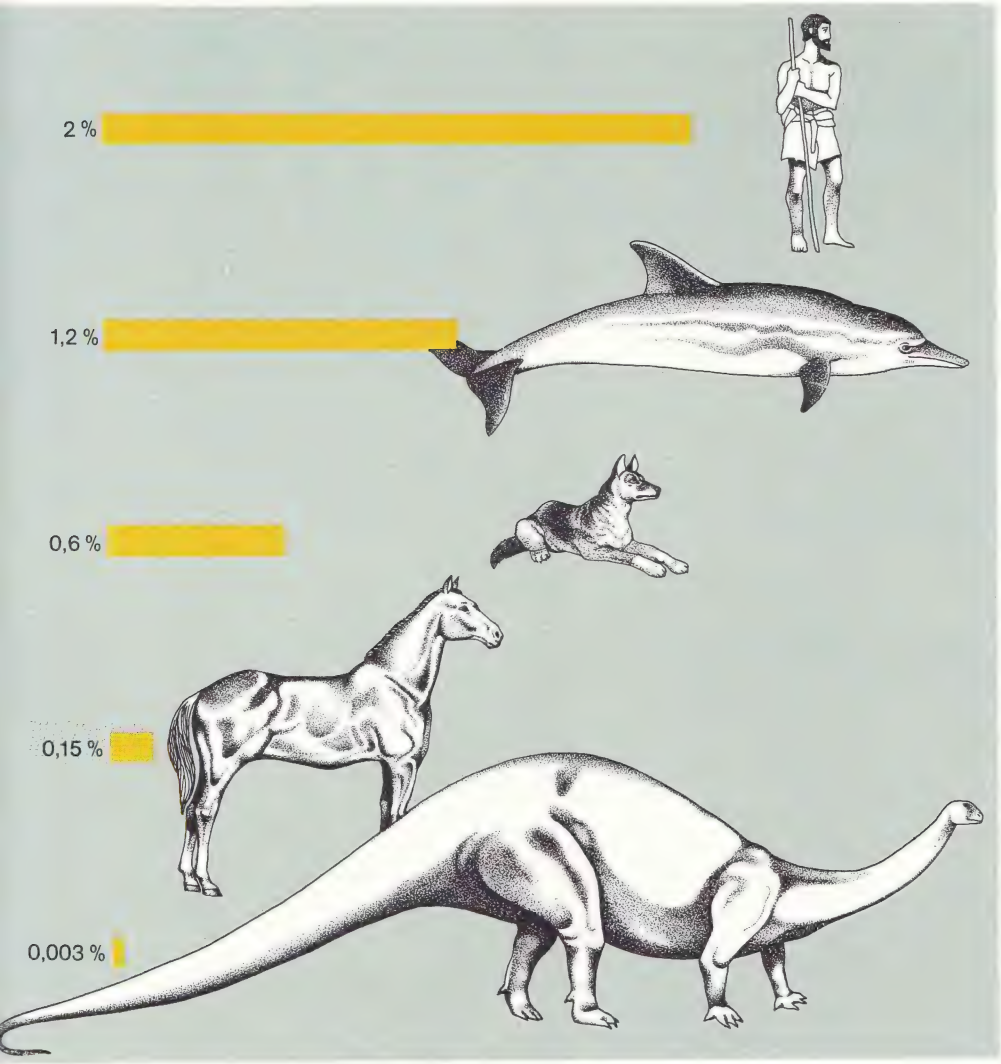
Über die Lebensgewohnheiten des Brontosaurus wurde unter den Wissenschaftlern viel diskutiert und argumentiert. Früher glaubte man, daß das Tier wegen seiner ungeheueren Körpermasse gezwungen war, fortwährend im Wasser zu leben, da dieses sein enormes Gewicht trug und ihm seine Bewegungen erleichterte. Neuerdings jedoch hat eine genaue Untersuchung der Brontosaurierfüße gezeigt, daß sich die Donnerechse auch auf dem trockenen Land ohne jede Schwierigkeit fortbewegen konnte, genau wie der heutige Elefant, der ähnliche Gliedmaßen hat.

Gleichwohl haben sich viele Sauropoden auf unterschiedliche Weise an eine amphibische Lebensweise angepaßt. Also ist anzunehmen, daß die Lebensgewohnheiten des Brontosaurus denen des *Nilpferds* glichen, das ebenfalls kräftige Gliedmaßen besitzt, die in Hufen enden. Obwohl es das Wasser bevorzugt, ist auch das Nilpferd in der Lage, längere Ausflüge an Land zu unternehmen. Man darf also wohl annehmen, daß der Brontosaurus im allgemeinen im Wasser lebte, das

ihm einerseits einen guten Schutz vor Feinden gewährte und das ihm andererseits optimale Bedingungen für seine Fortbewegung bot. Gleichwohl wird er nicht selten auf der Suche nach geeigneten Weiden auch ausgedehnte Ausflüge auf das feste Land unternommen haben, und das vermutlich im Herdenverband.

Gar nicht so dumme Brontosaurier

Das Gehirn in dem kleinen Kopf des Brontosaurus war natürlich ebenfalls nicht sehr groß. Aber dies war nicht nur beim Brontosaurus der Fall; alle Dinosaurier hatten sehr kleine Gehirne. Das Gewicht eines Dinosaurierkörpers war im Durchschnitt 25 000- bis 50 000mal schwerer als das Gewicht seines Gehirns. Wenn wir die Dinosaurier mit den Säugetieren vergleichen, finden wir ein solches Mißverhältnis erstaunlich. Beim Elefanten wiegt der Körper 1 000mal so viel wie das Gehirn, bei einem Hund nur 170mal so viel. Wir dürfen uns aber den Dinosaurier nicht als dumm oder träge vorstellen, wie manche Leute es gern wahrhaben wollen. Die Tatsache, daß er die Erde mehr als 130 Millionen Jahre lang beherrscht hat, beweist seine Leistungsfähigkeit und Überlegenheit gegenüber seiner Umwelt.



Links: die jeweiligen Gewichtsunterschiede zwischen Körper und Gehirn bei einem Menschen, einem Delphin, einem Hund, einem Pferd und einem Dinosaurier. Das Gewicht des Dinosauriergehirns war im Verhältnis zu seiner Körpermasse außerordentlich klein. Gleichwohl dürfen wir den Dinosaurier nicht etwa für ein träges und dummes Tier halten, wie lange Zeit vermutet wurde. Die Tatsache, daß die Dinosaurier die Erde mehr als 130 Millionen Jahre lang beherrschten, bezeugt ihre Leistungsfähigkeit.

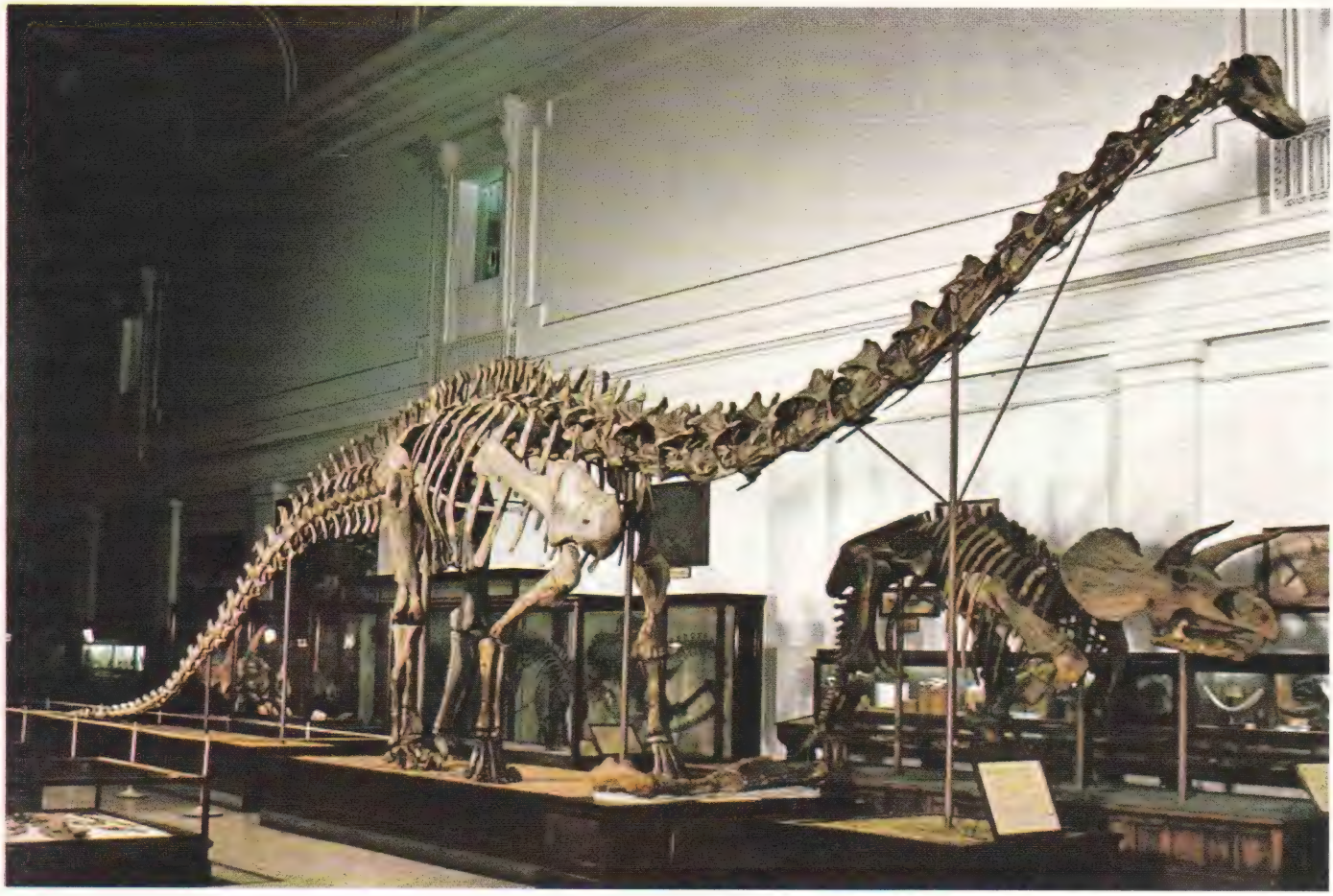
Abbildung auf den beiden folgenden Seiten: Herden von Brontosauriern in den Sümpfen, die Teile der westlichen Gebiete Nordamerikas im oberen Jura bedeckten. Die Brontosaurier waren über 21 m lang und wogen rund 30 t. Ihre Lebensweise ähnelte wahrscheinlich der des heutigen Nilpferds, das, obschon vollkommen an das Festland angepaßt, die meiste Zeit seines Lebens im Wasser verbringt.

Was den Brontosaurus betrifft, dürfen wir auf Grund seines Nervensystems annehmen, daß er über Reaktionen verfügte, die ihn sehr wohl instand setzten, sich gegen die großen Karnosaurier zu verteidigen. Tatsächlich hatten diese Dinosaurier außer den größeren Raubtieren keine weiteren natürlichen Feinde zu fürchten. Allein schon ihre Körperfülle wird wohl den kleineren Raubtieren einen gehörigen Respekt eingeflößt haben, und ihr Schwanz, den sie als Peitsche benutzten, war eine durchaus brauchbare Verteidigungswaffe. Gegen die größeren Raubtiere allerdings half nur ein schnelles Untertauchen in möglichst tiefe Gewässer.

Gleichwohl mußte sich der Brontosaurus gelegentlich unmittelbaren Gefahren aussetzen, und zwar v. a. dann, wenn das Weibchen aus dem Wasser stieg und sich aufs trockene Land begab, um dort seine Eier abzulegen. Wir wissen ganz sicher, daß sich die großen Sauropoden ihrer Eier auf dem festen Land entledigten, genau wie es das heutige Krokodil tut. Zwar wurden keine Brontosauriereier, aber doch Eier einiger anderer mit dem Brontosaurus verwandter Arten gefunden, die in Schichtungen aus dem späten Jura in der Provence (Frankreich) verborgen waren, so daß wir über Daten verfügen, die wahrscheinlich auf alle Sauropoden zutreffen.

Durch die Anordnung des Geleges konnte man feststellen, wie die Eier abgelegt wurden: Das Weibchen legte mehrere Eier, ungefähr vier

Das Skelett eines Diplodocus, des mit 27 m Körperlänge größten bekannten Sauropoden. Trotz seiner Länge war der Diplodocus viel leichter als der Brontosaurus.



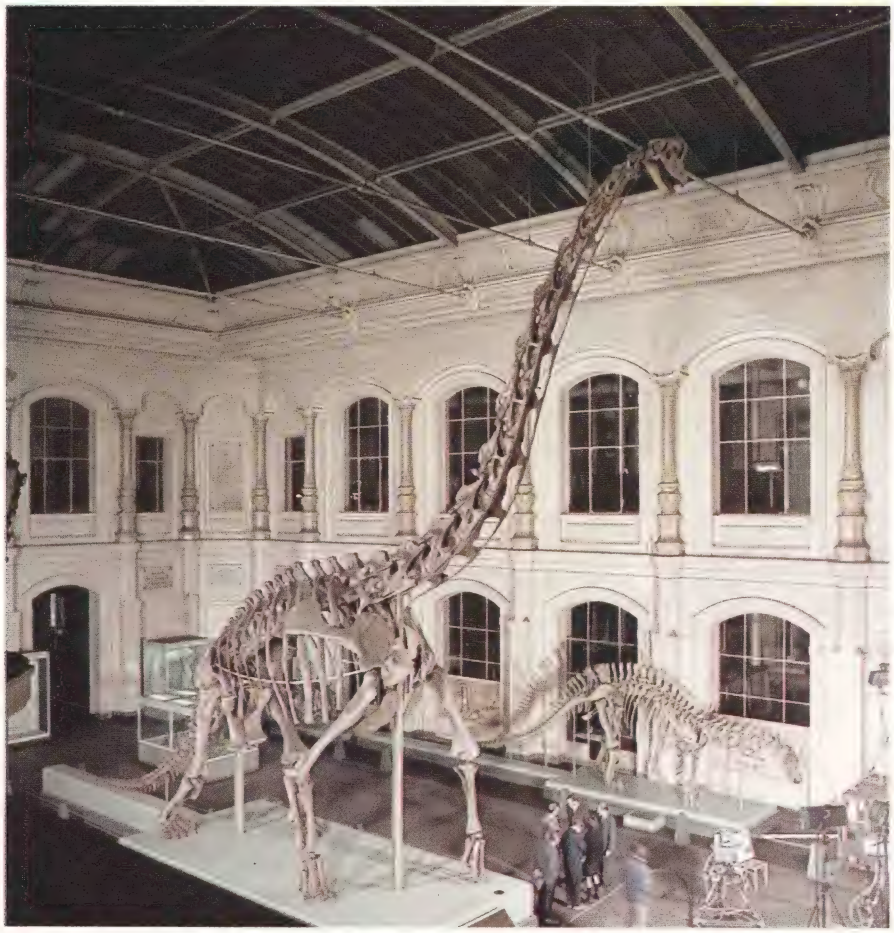
bis fünf, ganz nahe beieinander ab, trat dann schräg zur Seite und wiederholte diesen Vorgang 15- bis 20mal nacheinander.

Die Eier der großen Sauropoden, die in Frankreich gefunden wurden, waren rund wie Bälle und hatten einen Rauminhalt von bis zu 3,3 Litern. Daraus können wir schließen, daß die Sauropoden bei der Geburt ziemlich klein waren, sich aber später sehr schnell entwickelten.

Die Weltherrschaft der Sauropoden

Wir erinnern uns daß es unter den Prosauropoden in der Trias einige gewaltige Lebewesen gab, die gewohnt waren, sich auf vier Beinen fortzubewegen, Hier ist der Ansatzpunkt, wo wir den Vorfahren des Brontosaurus suchen müssen. Vielleicht war er ein Reptil wie der *Melanorosaurus* oder wenigstens ein mit diesem eng verwandter Vertreter der Prosauropoden, der sich früh von dieser alten Ordnung abgetrennt hat. Wir müssen daher jetzt fragen, woher die langhalsigen Lebewesen in der Trias gekommen sind. Wenn wir übereinstimmend meinen, daß schon der Melanorosaurus ein Sauropode gewesen sei, dann reichen diese Ursprünge zeitlich sehr weit zurück und verlieren sich schließlich im Dunkel, das den ganzen urtümlichen Stamm der Saurischier umhüllt.

Wie dem auch sei, die Sauropoden nahmen im Jura an Größe zu und erreichten schließlich ihre glorreiche Höchstform gegen Ende dieser Zeit. Zugleich verbreiteten sie sich über die ganze Erde. Es gab keinen



Links: Das Skelett eines Brachiosaurus, des schwersten Sauropoden. Seine Durchschnittslänge betrug ca. 23 m. Seine Vorderbeine waren länger als die Hinterbeine, wie bei der Giraffe. Diese Körperbeschaffenheit erlaubte dem Tier, sich in sehr tiefem Wasser zu bewegen, aus dem nur der Kopf herausschaute, um Luft zu holen.

Unten: Schädel eines Camarasaurus, eines pflanzenfressenden Zeitgenossen des Tyrannosaurus.

Oben: Schädel eines Brachiosaurus mit klar erkennbaren Nasenöffnungen.

großen Fluß oder See, der nicht ganze Herden von ihnen beherbergte und ernährte. Sie hatten sich eine ökologische Nische gesichert, die so gut wie jungfräulich war, eine Nische, in der es genügend Vegetation und Wasser gab. Nachdem sie sich erst einmal darin eingerichtet hatten, konnten sie sich ungestört und schrankenlos vermehren. Einige von ihnen verbreiteten sich nur in den nördlichen Gebieten. Dies war offenbar beim Brontosaurus der Fall, den man in Europa und in Amerika gefunden hat. Andere gediehen in Gondwanaland (bzw. dem, was davon übergeblieben war), wieder andere verbreiteten sich über den ganzen Bereich von Pangäa.

In Amerika gab es außer dem Brontosaurus auch den *Camarasaurus,* der später nach Europa auswanderte und eine Länge von 16,50 m erreichte. In Europa war der *Cetiosaurus* weit verbreitet, der ebenfalls in Afrika vertreten war. Er ähnelte dem Brontosaurus, obwohl er niemals länger als 15 m wurde. In Ostasien gab es u. a. den *Mamenchisaurus.*

Das größte all dieser Tiere war der *Diplodocus,* der aber dennoch leichter als der Brontosaurus war. Obwohl er 27 m lang wurde, wog er nicht mehr als 10 t. Er war sehr schlank und hatte einen dünnen und schlangenartigen Hals. Sein langgestreckter Schädel hatte entfernte Ähnlichkeit mit dem eines Pferdes. Seine einzige Nasenöffnung lag zwischen seinen Augen. Dies bedeutet, daß dieses Lebewesen auch dann noch atmen konnte, wenn sein Körper ganz von Wasser bedeckt war; es brauchte dazu lediglich seinen Kopf ein paar Zentimeter aus dem Wasser herauszustrecken.

Der Diplodocus lebte im oberen Jura in Nordamerika. Ein sehr schönes Exemplar wurde aus einem Steinbruch beim Dinosaur National Monument ausgegraben, von dem zu Beginn dieses Jahrhunderts mehrere Nachbildungen auf Kosten des Millionärs Andrew Carnegie angefertigt wurden, der sie dann überallhin verteilte. Die erste Nachbildung wurde 1910 im British Museum in London aufgebaut, andere gelangten als Stiftungen in die Museen von Berlin, Frankfurt, Wien, Bologna, Paris, Mexiko City und mancher südamerikanischer Städte. So konnte ein sehr breites Publikum diesen außerordentlichen Sauropoden gebührend bewundern.

Der Riese Brachiosaurus

Das Sauropodenwunder endete nicht mit dem Diplodocus. Die Sauropoden erlangten ihren Höhepunkt vielmehr erst mit dem *Brachiosaurus,* dem gigantischsten Landlebewesen aller Zeiten. Ein vollständig erhaltenes Skelett dieses Riesen, das man später (1912) im Berliner Museum aufbaute, wurde in Tendaguru (Tansania) freigelegt. Dieses Skelett hatte eine Länge von über 23 m. Sein Kopf war 12 m über dem Erdboden anzusetzen. Nach den Knochenmaßen zu urteilen, muß dieses Tier 78 t gewogen haben, doppelt so viel wie ein Brontosaurus! Aber dieses Skelett war nicht einmal das größte. Es gibt einzelne Brachiosaurierknochen, die durch ihre Größe die Vermutung nahelegen, daß ihre ursprünglichen Besitzer sogar bis zu 100 t gewogen haben (d. h. so viel wie 20 Elefanten zusammen!). Ein solcher Rekord wird allein von dem heutigen Blauwal übertroffen, der eine Länge von 33 m und ein Gewicht von 130 t erreichen kann.

Rechte Seite: Der Brachiosaurus in seiner natürlichen Umgebung. Seine Nasenöffnungen waren so angelegt, daß er noch frei atmen konnte, wenn er den übrigen Körper, einschließlich des Kopfs, unter der Wasseroberfläche hielt. Dies zeigt, wie außerordentlich weit sich das Tier schon an ein Leben im Wasser angepaßt hatte.

Im äußeren Erscheinungsbild gab es zwischen dem Brachiosaurus und dem Brontosaurus einige Unterschiede. Der Brachiosaurus war verhältnismäßig klein, und seine Vorderbeine waren länger als seine Hinterbeine (bei den meisten Dinosauriern ist dies, wie wir wissen,

gerade umgekehrt). Auf Grund dieser Tatsache war er in der Lage, seinen Kopf auf dem endlos langen Hals sehr hoch zu halten; er konnte deshalb in noch tieferen Gewässern verweilen, als es der Diplodocus vermochte. Beim Brachiosaurus befand sich die Nasenöffnung nicht nur oben auf dem Kopf, sondern dazu noch auf einem hervortretenden Knochenstück. In dieser Hinsicht war er dem Diplodocus überlegen.

Fossilienreste dieses riesigen Tiers wurden in Ostafrika, Algerien, Portugal und Nordamerika gefunden, eine Tatsache, die uns beweist, daß es irgendwann im Jura zwischen Spanien und Afrika eine Landbrükke gab, obwohl solche Verbindungen wahrscheinlich nur vereinzelt und auch nur vorübergehend auftraten.

Die riesigen Theropoden, Geißel der Wälder

Wir haben uns bis jetzt lediglich mit den Pflanzenfressern des Juras beschäftigt. Nunmehr wollen wir uns den großen Fleischfressern zuwenden, die mit den Pflanzenfressern lebten und deren friedliche grüne Welt immer wieder auf unangenehme Weise erschütterten. Wir meinen die *Karnosaurier,* die „raubtierfüßigen" Dinosaurier, gewandt und mit einem erschreckenden Gebiß ausgestattet. Die Vertreter von *Ornithosuchus* z. B., die in der Trias erst 3,60 m lang waren, entwickelten sich später zu einer Größe von mehr als 10 m.

Der mächtigste Vertreter dieser Tiergruppe war der *Allosaurus,* der bis zu 10 m lang werden konnte. Er verfügte über lange, kräftige Hinterbeine, einen langen, schweren Schwanz und Vordergliedmaßen, die wie Arme mit drei langen Fingern aussahen, die in scheußlichen Krallen endeten. Sein Hals war kurz, sein Schädel groß und mit zahlreichen Öffnungen versehen. Sein riesiges Gebiß war mit langen, gebogenen Zähnen gespickt, deren scharfe Spitzen nach hinten zeigten. Dieses entsetzliche Raubreptil bewegte sich flink auf seinen Hinterbeinen. Es neigte den Körper nach vorn und hielt das Gleichgewicht mit Hilfe seines langen Schwanzes. Auf diese Weise war es in der Lage, sich urplötzlich auf seine Beute zu stürzen, die es dann mit seinen gräßlichen Krallen festhielt, während es das Opfer mit seinem riesigen Gebiß zerfleischte.

Man kann schon Alpträume kriegen, wenn man sich vorstellt, wie diese Ungeheuer, zweibeinig wie Menschen, zwischen Nadelbäumen, Palmfarnen und Bennettitales Jagd auf Beute machten. Natürlich war ein Brontosaurus auf dem festen Land verloren, wenn er von einem solchen Räuberpack eingeholt wurde. Er hatte dann praktisch keine Möglichkeit, sich zu verteidigen, und wird sicher schnell getötet und vertilgt worden sein. Daß dies häufig geschah, wurde durch Funde von Brontosaurierknochen bestätigt, die alle Spuren von Allosaurierzähnen aufweisen.

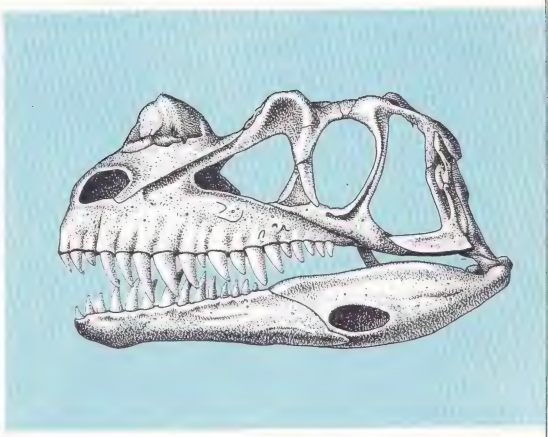
Verschiedene fossile Urkunden

Die berühmtesten Knochenfunde in einem derartigen Zustand wurden 1897 am Medicine Bow River von dem Paläontologen Jacob Wortman gemacht. Er fand sie in dem Steinbruch unweit der Hirtenhütte, die zum Teil aus Dinosaurierknochen gebaut worden war. Dieser Steinbruch ist unter Paläontologen schon lange unter dem Namen „Knochenhüttensteinbruch" bekannt. Es war hier, daß Wortman ein unvollständiges Brontosaurierskelett entdeckte, in dem viele Knochen (besonders die Schwanzwirbel) Eindrücke von Allosaurierzähnen aufweisen. Die Eindrücke der Zähne auf dem Schwanz deuten darauf hin, daß der

Brontosaurus versucht hat zu fliehen, aber von seinen Verfolgern eingeholt und von hinten angegriffen wurde. Weiterhin können wir daraus schließen, daß der Kampf wohl kurz und heftig war, da ein paar abgebrochene Allosaurierzähne zusammen mit den Wirbelknochen gefunden wurden.

Dieser äußerst interessante Fossilfund konnte im New Yorker Museum mit Hilfe eines anderen prachtvollen Fossilexemplars, das über 20 Jahre lang ungenutzt herumgelegen hatte, angemessen aufgebaut werden. Es handelt sich dabei um ein vollständiges Allosaurierskelett, das der Paläontologe Hubbel 1879 nicht weit vom Medicine Bow River entfernt entdeckt hatte. Es wurde auf den Fossilienresten des getöteten Brontosaurus aufgebaut, wodurch ein Tableau von kräftiger Lebendigkeit entstand, in dem der Allosaurus mit seinen Krallen einen heftigen Angriff auf den unglückseligen Pflanzenfresser startet. Diese erstaunliche Rekonstruktion ist im New Yorker Museum of Natural History in der Halle des großen Brontosaurus zu bewundern.

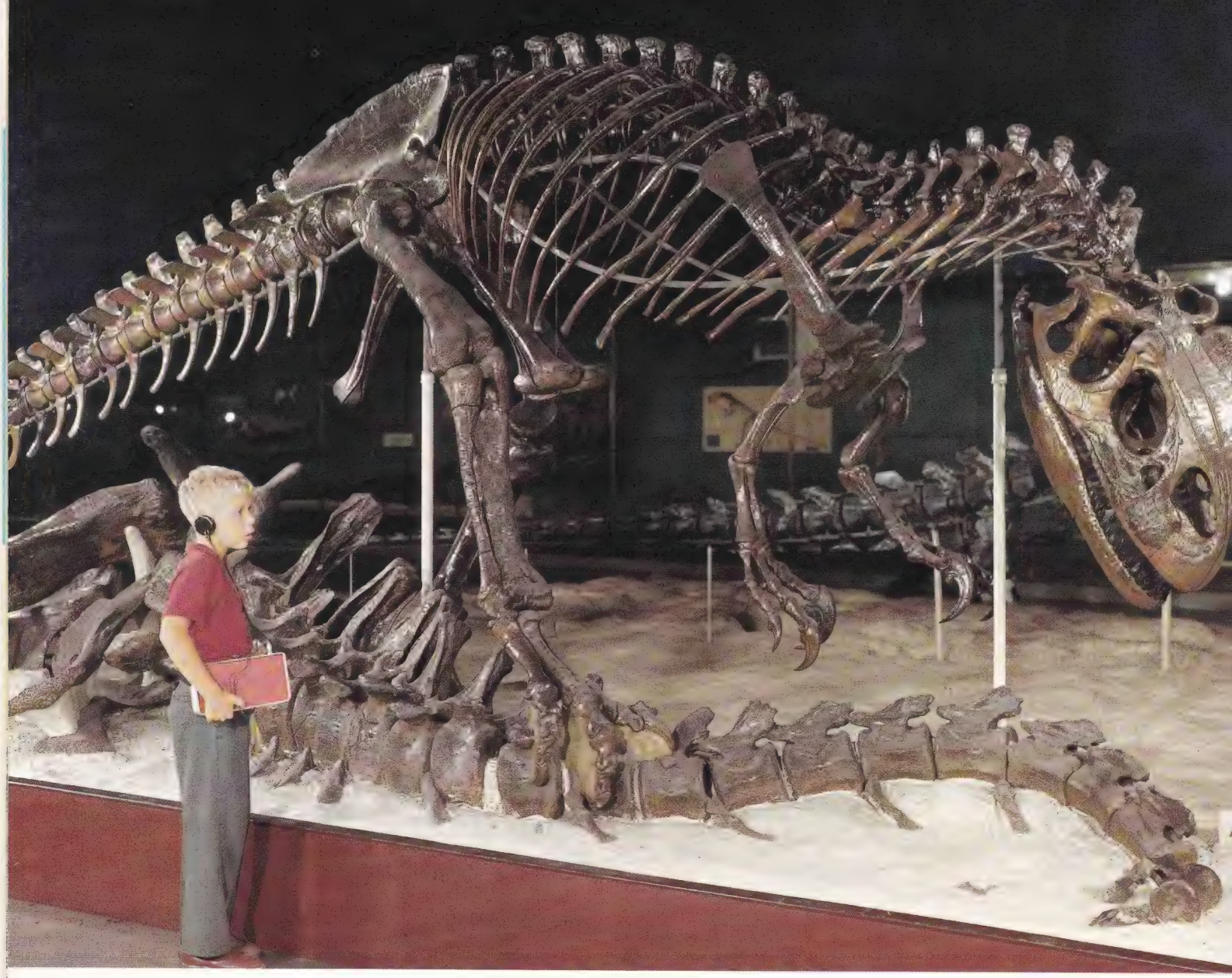
Dieselbe Halle beherbergt ein anderes Zeugnis dieser wilden Angriffe von Karnosauriern auf die großen Sauropoden: die im weichen Lehm erhaltenen und dann versteinerten Fußabdrücke eines Allosaurus, der einen Brontosaurus verfolgt. Auf einer großen Felstafel aus der Gegend von Glen Rose in Texas sind noch heute sechs Fußabdrücke der Hinterfüße und sechs Abdrücke der Vorderfüße eines Brontosaurus zu erkennen. Sie sind mehr als 12 cm tief und ähneln kleinen Badewannen.



Oben: Der Schädel eines Ceratosaurus, eines seltsamen Karnosauriers aus dem oberen Jura mit einem spitzen Horn auf der Schnauze.

Links: Darstellung der Fußabdrücke eines Allosaurus und eines Brontosaurus, die sie bei einer Verfolgungsjagd hinterließen, als der erstere den letzteren angriff. Die Allosaurier waren die größten Theropoden im Jura und gehörten zu den größten Raubtieren aller Zeiten.

Abbildung auf den beiden folgenden Seiten: Eine Gruppe von Allosauriern greift einen Brontosaurus an (oberer Jura). Mit Zähnen und Klauen bewaffnet, attackierten diese riesigen Fleischfresser die friedlichen Pflanzenfresser, die verzweifelt (meist jedoch vergeblich) versuchten, sich ins Wasser zu retten.



Das Skelett eines Allosaurus über dem unvollständigen Skelett eines Brontosaurus, aufgebaut im Museum of Natural History in New York. Das Tableau stellt einen Allosaurus beim Verzehr einer zerstückelten Brontosaurierleiche dar. Es ist sehr realistisch, besonders da die Wirbelknochen des Sauropoden die authentischen Spuren von Allosaurierzähnen tragen.

Neben ihnen sieht man die dreizehigen Fußabdrücke des Allosaurus, von denen die beiden letzten auf denen des Brontosaurus liegen. Offenbar hatte der wilde Fleischfresser den Pflanzenfresser verfolgt und am Ende der Steinplatte überholt. Was dann geschah, kann man sich leicht vorstellen.

Der Allosaurus lebte im oberen Jura, und zwar nicht nur in Nordamerika, sondern auch in Ostasien und wahrscheinlich auch in Ostafrika. Sein Pendant in Europa war der *Megalosaurus,* der etwas kleiner war (unter 7,50 m), ihm aber äußerlich ähnlich und genau so räuberisch war. Verschiedene andere große Karnosaurier mit furchteinflößenden Kiefern lebten in anderen Teilen der Welt, so auch auf Madagaskar und in Südamerika. Eine Sonderstellung unter ihnen nahm der *Ceratosaurus* ein: Er hatte ein scharfes, knöchernes Horn im Gesicht, was reichlich ungewöhnlich für ein Raubtier ist. Er war jedoch mit einer Länge von weniger als 6 m erheblich kleiner als der Allosaurus. Gleichwohl muß er mit seinem scharfen Horn und seinen fünf fingerartigen Krallen ein schrecklicher Zeitgenosse gewesen sein.

Leichte Kavallerie, wendige Panzer und die ersten Flieger

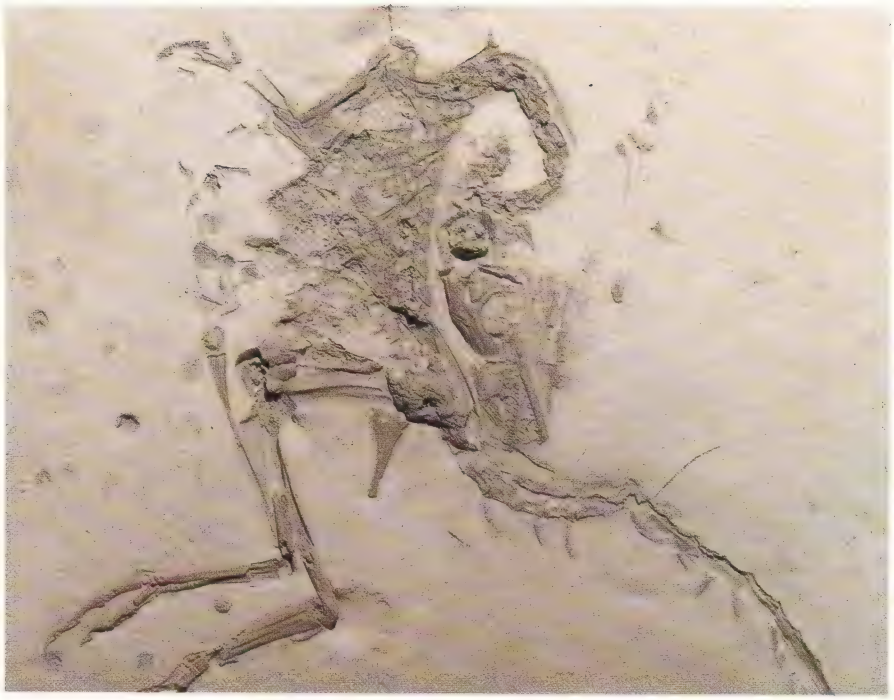
Leichtfüßige Räuber durchstreifen die Steppe

Zur gleichen Zeit wie die Allosaurier und die Zeratosaurier, die mit ihren mächtigen Kiefern bzw. ihrem spitzen Horn mordend in Herden durch die Waldlichtungen zogen, jagten viel kleinere, aber nicht minder wilde Dinosaurier in Dürregebieten, Steppen und Wüsten. Es waren dies die schlanken, vogelfüßigen *Zölurosaurier,* „leichte Kavallerie" aus der Gruppe der Theropoden, von denen uns der Coelophysis bereits aus der Trias bekannt ist. Ihre Dynastie reichte ohne erwähnenswerte Abwandlungen der verschiedenen Formen, die sich über die Erde verbreitet hatten, bis in den Jura hinein. Viele Fossilienreste dieser Lebewesen wurden in Australien gefunden. Das beweist eine weltweite Verbreitung, bei der sich einzelne Zweige ganz unabhängig von den anderen entwickelten.

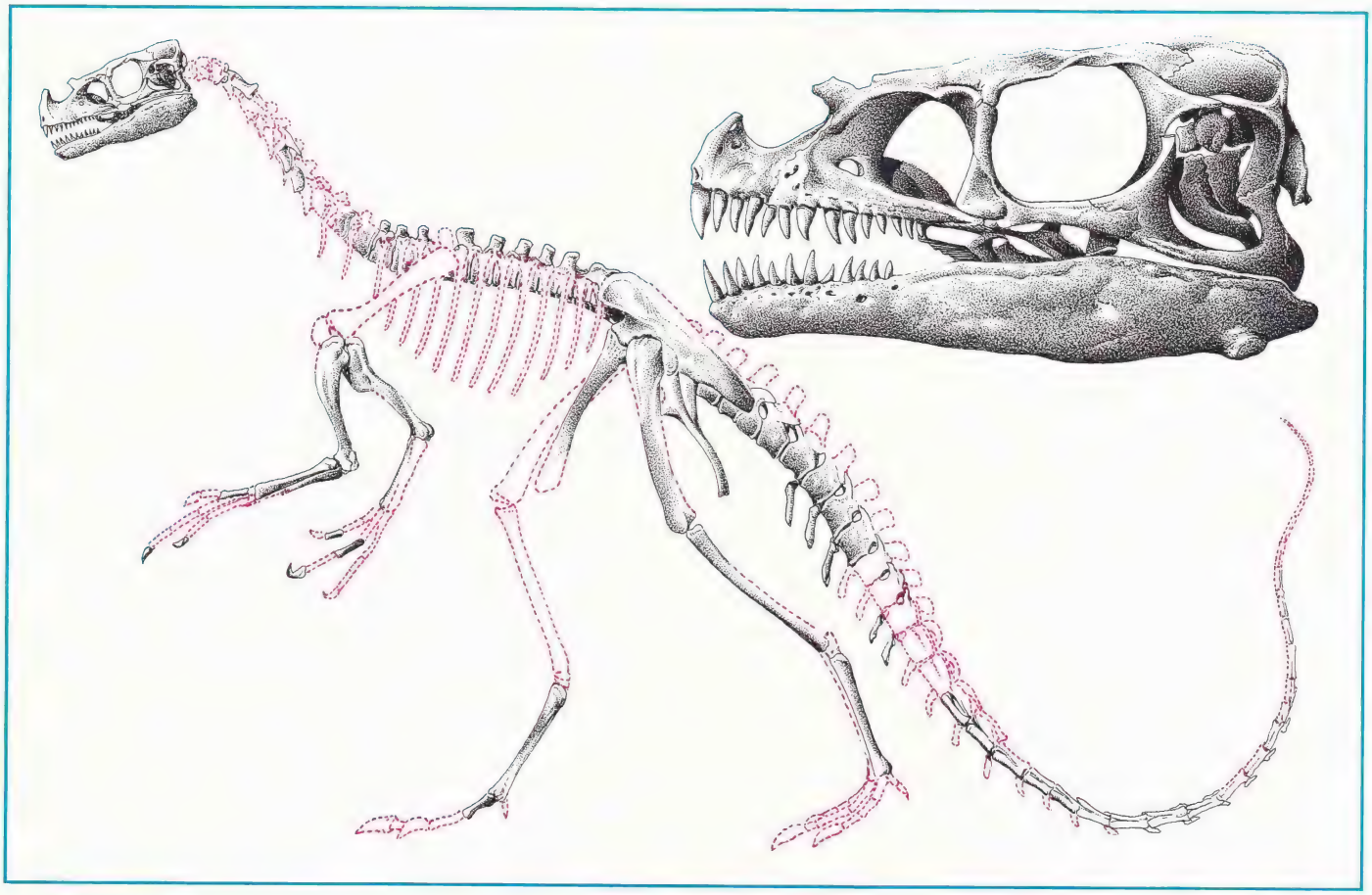
Ein typischer europäischer Zölurosaurus war der *Compsognathus,* von dem ein fast vollständiges Skelett auf einer Schieferplatte in den oberen Juraschichtungen von Bayern gefunden wurde. Der Compsognathus war so groß wie eine Katze und hat sich vermutlich von Eidechsen, Insekten und wohl auch kleineren Säugetieren ernährt. Seine Vorderfüße waren vollkommen an die Aufgabe, die Beute zu packen und festzuhalten, angepaßt wie beim Allosaurus. Er hatte obendrein noch fünf „Finger" an seinen „Händen". Allerdings waren zwei dieser „Finger" bereits verkümmert, da nur drei benötigt und benutzt wurden. Bemerkenswert sind hier die parallelen Wege der Evolution bei ganz verschiedenen Lebewesen, die allerdings alle Raubtiere waren. Die Vorderextremitäten, die in der ganzen Theropodengruppe schon vor einiger Zeit „Hände" oder „Pfoten" geworden waren, waren jetzt dreifingrig, da dies offenbar praktischer war, d. h. einen Selektionsvorteil darstellte.

Ein amerikanischer Zeitgenosse des Compsognathus, allerdings viel größer als dieser, war *Ornitholestes.* Trotz seiner Größe war dieser schlanke Zölurosaurier nicht minder beweglich als der Compsognathus. Er maß 1,80 m in der Länge. Seine Vorderpfoten hatten nur drei „Finger", ohne auch nur die rudimentärsten Stummel der anderen zwei aufzuweisen. Wie seine europäischen Verwandten besaß er wie die Vögel Wirbel

Rechts: Das vollständig erhaltene Skelett eines Compsognathus, das in Bayern gefunden wurde. Dieses Tier war ein kleiner Zölurosaurier, etwa so groß wie eine Katze.



Unten: Skelett eines Ornitholestes, eines schlanken Zölurosauriers aus Nordamerika.



und lange Knochen, die innen hohl waren. Dieser Eigentümlichkeiten wegen, die allen Zölurosauriern gemeinsam waren, waren diese Raubtiere außerordentlich leichtfüßig, so daß sie mit hoher Geschwindigkeit dahinjagen konnten, fast ohne den Boden zu berühren. Dies war offenbar sehr vorteilhaft für das Leben in flachen Ebenen, Savannen oder auf kahlen Felsplateaus.

Oben: Skelett eines Camptosaurus, eines typischen Vertreters der Ornithischier gegen Ende des Juras in Europa und Amerika. Das Reptil war imstande, sich sowohl zweibeinig als auch vierbeinig fortzubewegen.

Zweifüßige Ornithischier

Zur selben Zeit wie die Ordnung der Saurischier entwickelten sich die *Ornithischier,* Dinosaurier mit vogelähnlichem Becken. Obwohl sie nicht so auffallend vital und produktiv waren, entwickelten sie sich in vielen seltsamen, interessanten Formen. Sie erschienen zwar später als die Saurischier auf der Bühne des Lebens, entdeckten dafür aber eine Reihe für sie besonders geeigneter ökologischer Nischen. Alle waren Pflanzenfresser. Daher hatten sich ihre Zähne je nach den Pflanzenarten, von denen sie sich ernährten, spezialisiert. Sie konnten natürlich in gar keiner Weise mit den wilden Theropoden konkurrieren und hatten daher zwei Verteidigungssysteme entwickelt: schnelle Flucht und eine gepanzerte Schale aus Platten mit Stacheln.

Wir haben die Ornithischier in unserer Darstellung der Trias nicht weiter erörtert, weil diese Dinosaurier damals (vor dem Jura) ohne sonderliche Bedeutung waren. In jenen weit zurückliegenden Zeiten beherrschten die Saurischier die Szene, und es gab nur wenige kleine Ornithischier. Von ihren Fossilienresten wurden bisher nur einzelne seltene Fragmente in Südafrika, Südamerika und China gefunden. Der interessanteste unter diesen archaischen Ornithischiern ist ein leichtes, zweifüßiges Reptil mit dem wissenschaftlichen Namen *Fabrosaurus.* Von ihm wurden Fossilienreste 1964 in Schichtungen der oberen Trias Südafrikas gefunden. Der Erscheinung nach muß der etwa 1,50 m lange

Abbildung auf den beiden folgenden Seiten: Darstellung von Stegosauriern in ihrer natürlichen Umwelt. Die doppelte Reihe hornartiger, zugespitzter Knochenplatten auf dem Rücken dieser Tiere ist wirklich einmalig; man diskutiert immer noch über die genaue Anordnung der Platten. Beim Gehen schwenkte der Stegosaurier wahrscheinlich seinen stacheligen Schwanz hin und her, um potentielle Feinde abzuschrecken, und mähte auf diese Weise alle Pflanzen auf seinem Weg nieder.

Fabrosaurus einigen der damaligen Zölurosaurier ähnlich gesehen haben. Er scheint im übrigen in enger Verwandtschaft zur Stammform aller Ornithischier gestanden zu haben, welche wie die Saurischier Nachfahren der Therodonten waren. Man könnte in der Tat meinen, der Fabrosaurus sei das Missing link („verbindende Glied") zwischen diesen beiden Reptilienordnungen gewesen.

Während des oberen Juras hatten sich schnellfüßige zweibeinige Ornithischier bis in den höchsten Norden ausgebreitet und wurden dabei größer als der Fabrosaurus. Der bekannteste unter ihnen war der pflanzenfressende *Camptosaurus* (in Europa und Nordamerika). Seine Länge schwankte zwischen 6 und 9 m. Er war ziemlich leicht gebaut, hatte einen kleinen, länglichen Kopf. Seine Kiefer waren zahnlos. Er hatte fünffingrige Vorderfüße, die er dazu benutzte, kleine Zweige zu ergreifen und zum Mund zu führen oder sich darauf zu stützen, während er äste.

Ornithischier mit Panzer

Am Anfang des Juras lebte in Europa ein gepanzerter, vierbeiniger Ornithischier: der 3,50 m lange *Scelidosaurus.* Er stellt wohl die alternative Entwicklungsform der Ornithischier dar: gepanzerte Verteidigung gegen die Theropoden. Wegen seines schwergewichtigen Körpers hatte er die Fähigkeit verloren, sich zweibeinig fortzubewegen. Seine Fortbewegungsweise war für immer vierbeinig, obwohl ihn seine kürzeren Vorderbeine dazu zwangen, den Kopf dicht am Erdboden zu halten. Der Scelidosaurus hatte eine Panzerung aus Hautplatten und war noch ziemlich urtümlich, d. h. nur wenig spezialisiert. Es scheint, daß er ein Allesfresser war, kein reiner Pflanzenfresser wie die meisten anderen Ornithischier.

Erheblich später, gegen Ende des Juras, bildete sich aus der Entwicklungskette der mächtigen, vierbeinigen Ornithischier ein außerordentliches Lebewesen heraus. Es war einer jener Dinosaurier, die die Phantasie der Menschen schon immer besonders stark beschäftigt haben: der *Stegosaurus.* Der wissenschaftliche Name des Tiers, der wörtlich etwa „bedeckte Echse" bedeutet, stammt von dem Paläontologen Marsh. Obwohl der Stegosaurus tatsächlich eher bewaffnet als von einer Panzerung bedeckt war, ist dies dennoch ein recht passender, ausdrucksvoller Name.

Der Scelidosaurus, ein gepanzerter Dinosaurier, mit dem Stegosaurier verwandt. Das Tier war 4 m lang und lebte am Anfang des Juras in England.

Der Rücken dieses erstaunlichen Reptils, das bis 6 m lang werden konnte und dann 2 t wog, war außergewöhnlich hoch und gewölbt. Es trug zwei Reihen bis 75 cm langer Knochenplatten, die aufrecht auf seinem Rücken standen. Diese bildeten zwei Linien von Rückenkämmen, wie bei einem phantastischen Drachen. Die Rückenplatten waren aber nicht seine einzige Verteidigungswaffe. Es hatte außerdem auf seinem mächtigen Schwanz zwei Reihen scharfer Stacheln, die so lang wie die Rückenplatten hoch waren. Sein Kopf war klein und länglich und ähnelte dem eines Vogels. Das Gehirn des Stegosaurus war ebenfalls sehr klein, erheblich kleiner jedenfalls als das sog. „zweite Gehirn", eine Konzentration von Rückenmarksubstanz in der Gegend des Beckens.

Durch die zweibeinige Fortbewegungsweise seiner Vorfahren waren die Vorderfüße des Stegosaurus unverhältnismäßig klein im Vergleich zu seinen Hinterfüßen. Aus diesem Grunde hielt das Tier seinen Kopf dicht am Erdboden, während es sich fortbewegte, und weidete kurzstengelige Pflanzen ab. Es streifte durch die urzeitlichen Wälder wie ein geländegängiger Panzerwagen, der alle Hindernisse auf seinem Weg

niederwalzt. Wenn das Echo der brüllenden Allosaurier- oder Zeratosaurierstimmen zwischen den Araukarien widerhallte, wölbte der Stegosaurus seinen Rücken etwas stärker als gewöhnlich, um seinen scharfen Knochenkamm deutlicher hervortreten zu lassen. Wenn er sich verteidigen mußte, schützte er seine bloßen Flanken durch kräftiges Schlagen mit seinem stacheligen Schwanz nach allen Seiten. Der Stegosaurus war also selbst für die größeren Karnosaurier eine schwer zu erjagende Beute.

Wenn die Stegosaurier auch am stärksten in Nordamerika verbreitet waren, gab es sie doch auch in Europa. Ein unvollständiges fossiles Exemplar wurde in England gefunden. Ähnliche Formen fanden sich verstreut über alle nördlichen Gebiete und sogar in Gondwanaland. So wurde in denselben ostafrikanischen Ablagerungen, aus denen wir den Brachiosaurus haben, auch der *Kentrurosaurus* entdeckt, der etwas kleiner war als der Stegosaurus und eine große Anzahl von Stacheln auf den Knochenplatten seines Rückenkamms aufwies. Ein entsprechendes Lebewesen, der *Chialingosaurus,* lebte zur gleichen Zeit in China. All dies zeigt, daß die großen, mit Knochenkämmen und Stacheln bewehrten Ornithischier glänzend an ihre Umwelt angepaßt waren.

Skelett eines Stegosauriers. Bei diesem Reptil bildete das Rückenmark einen Wulst in der Beckengegend, der viel größer als das Gehirn war. Diese Tatsache verleitete einige Gelehrte zu der Annahme, der Stegosaurus habe zwei Gehirne gehabt. In Wirklichkeit lag die Ursache für die Größe des „zweiten Gehirns" darin, daß sich hier eine große Menge Nerven befanden, die Befehle an Hinterbeine und Schwanz weiterleiteten.

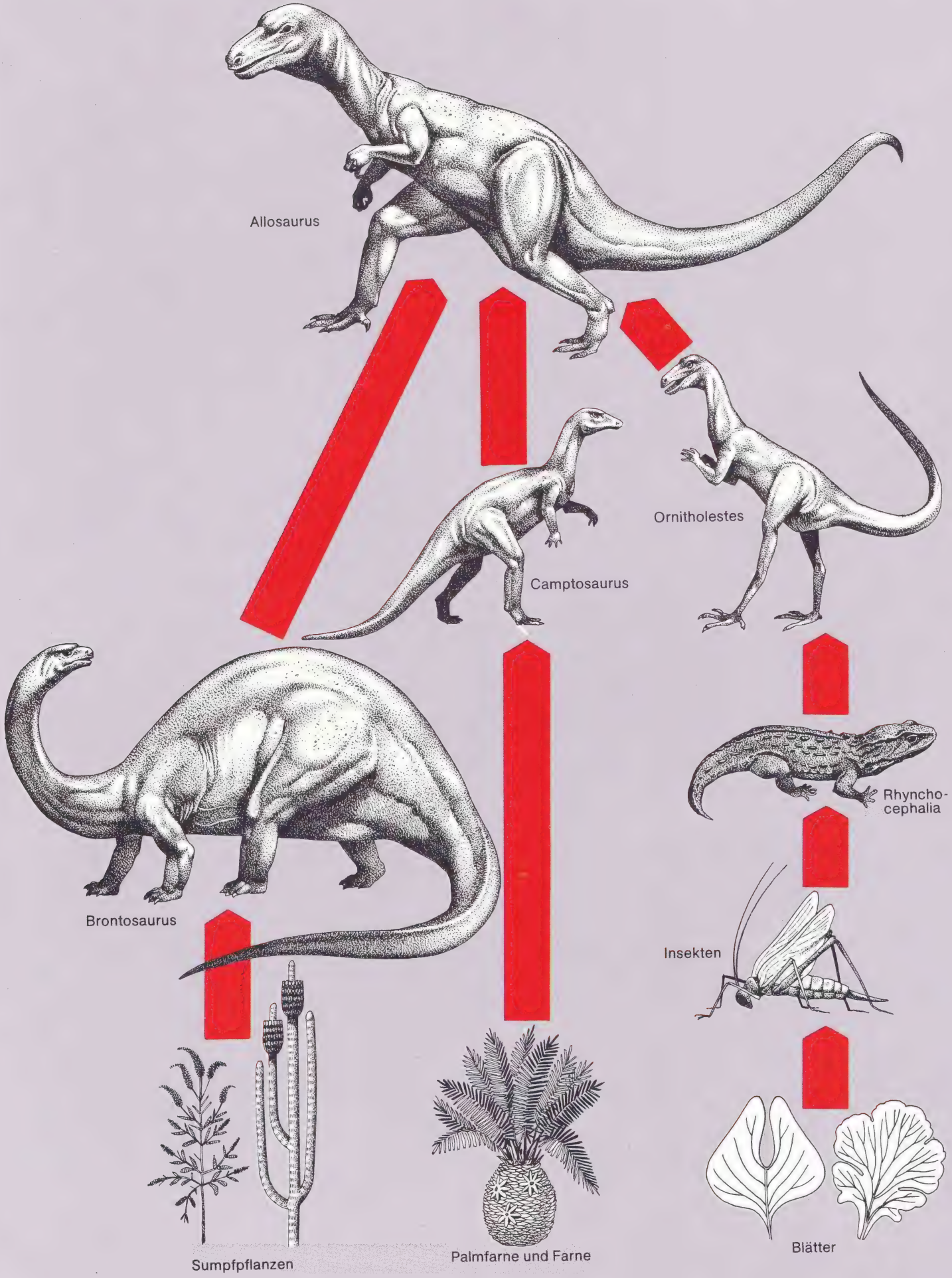
Die Ökologie der Dinosaurier im Jura

Oben: Auch heutige Reptilien nehmen wie die aus grauer Vorzeit eine seltsame Haltung an, wenn sie sich bedroht fühlen. Diese Haltung soll den Feind in die Flucht schlagen. In dieser Aufnahme plustert sich ein Chlamydosaurus am Hals auf, um mächtiger zu erscheinen.

Rechte Seite: Beispiel einer ökologischen Pyramide im oberen Jura Nordamerikas, an deren Spitze ein Allosaurus stand.

Wir haben Dinosaurier aller Arten kennengelernt: Pflanzenfresser und Fleischfresser in jeder Art von Umgebung, in Sumpf und Wald, in Savanne und Wüste. Dies zeigt, daß die Dinosaurier nicht auf bestimmte Lebensräume beschränkt waren, sondern in einer in sich geschlossenen und vollständigen Umwelt lebten, wie es auch unsere heutige Welt ist (die allerdings von den Säugern beherrscht wird). Es zeigt auch, daß die damaligen Nahrungsketten reichhaltig und vielfältig waren und durchaus mit den heutigen Verhältnissen vergleichbar sind.

Das alles wird noch deutlicher, wenn man die Leitformen unter den damaligen Reptilien und die entsprechenden Säugetiere in den warmen Klimazonen unserer heutigen Welt miteinander vergleicht: etwa die großen und kleinen Fleischfresser von heute (Löwen, Tiger, Leoparden, Schakale, Wölfe, Luchse) mit den fleischfressenden Dinosauriern (Allosaurier, Zeratosaurier, Megalosaurier, Zölurosaurier usw.); die amphibisch lebenden Pflanzenfresser von heute (Nilpferd) mit den amphibischen Dinosauriern (die großen Sauropoden); die leichtfüßigen und unbewaffneten rezenten Pflanzenfresser (Antilopen, Gazellen,

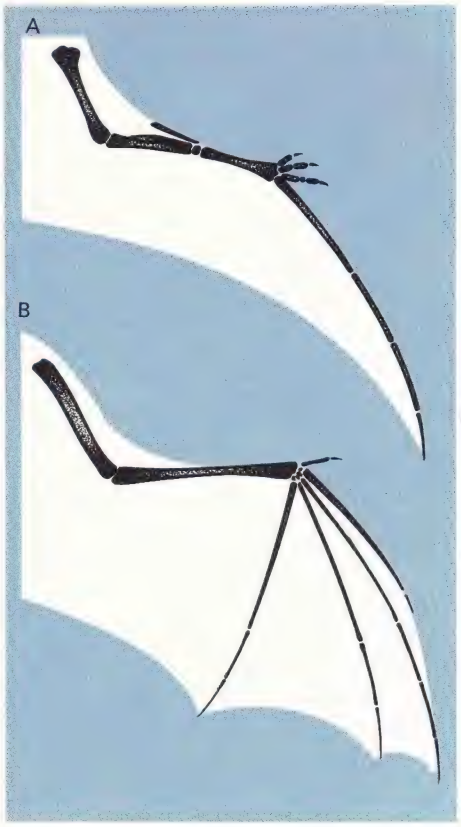

Allosaurus
Ornitholestes
Camptosaurus
Brontosaurus
Rhyncho-
cephalia
Insekten
Sumpfpflanzen
Palmfarne und Farne
Blätter

Zebras) mit den zweifüßigen Ornithischiern (Kamptosaurier); schließlich die gepanzerten und schwerfälligen heutigen Pflanzenfresser (Büffel, Nashorn, Elefant) mit den gepanzerten oder sonst gewaltig bewaffneten Ornithischiern (Scelidosaurus, Stegosaurus).

Solche Vergleiche sind zwar immer unvollständig und biologisch im Grunde bedeutungslos. Sie helfen uns jedoch, eine Vorstellung von den Nahrungsketten in der Welt der Dinosaurier zu entwickeln und zu verstehen, daß und wie alle ökologischen Nischen auch damals schon besetzt waren – wie heute. Natürlich sind die Verhaltensweisen von Reptilien extrem anders als die der Säugetiere. Entsprechend unterschied sich auch das Verhalten der Dinosaurier von dem derjenigen Tiere, die uns Menschen heute vertraut sind. Dennoch gab es auch schon im Jura einen Kampf ums Überleben, der dem entsprechenden Daseinskampf in unserer heutigen Welt in vielen Zügen ähnelt. Natürlich gab es auch damals ökologische Gleichgewichte, ähnlich wie heute, jedoch mit dem wesentlichen Unterschied, daß sich Veränderungen in diesen Gleichgewichten in viel, viel größeren Zeiträumen (Jahrmillionen) vollzogen und auswirkten.

Die Eroberung der Luft

Die Dinosaurier waren zu ihrer Zeit die „Herren" der Welt, aber sie blieben dem Erdboden verhaftet. Über ihnen allerdings flatterten bereits kleine Archosaurier, die sich anschickten, den Luftraum zu erobern. Diese außerordentlichen Flugreptilien waren die *Flugsaurier* oder *Pterosaurier.* Ihr aus dem Griechischen stammender Name bedeutet wörtlich „Flugechsen". Anfangs waren diese Lebewesen in der Tat wenig mehr als geflügelte Eidechsen mit einem disproportionierten Kopf, der mit Zähnen ausgestattet war wie bei wilden Raubtieren. Die Eroberung der Luft durch die Archosaurier erstreckte sich über eine Zeitspanne von alles in allem rund 120 Millionen Jahren.



Unten: Schematischer Vergleich zwischen den Schwingen einer Fledermaus und denen eines Pterosauriers. Die Flügel des Pterosaurus bestanden genau wie die der Fledermaus aus einer Membran, sie wurden aber auf andere Weise befestigt. Bei Fledermäusen spannt sich die Membran oder Flughaut über alle Krallen, außer dem „Daumen". Bei den Pterosauriern hingegen spannte sich die Flugmembran zwischen dem Körper und dem außerordentlich langen vierten „Finger". Die anderen drei Krallen ragten frei aus dem Flügel hervor und stellten im Grunde eine Art „Urhand" zum Greifen dar.

Die Pterosaurier hatten noch keine Federn. Sie benutzten zum Fliegen eine Flughaut, die ihre Vordergliedmaßen mit den Körperseiten verband. Es gibt noch heute im Tierreich Lebewesen, die mit einer entsprechenden Flughaut fliegen: die Fledermäuse. Allerdings gibt es einen grundlegenden Unterschied zwischen Fledermäusen und Pterosauriern. Bei den Fledermäusen stützt jede Vordergliedmaße die entsprechende Schwinge mit allen Fingern außer dem Daumen, so daß die stark verlängerten Fingerknochen sich ähnlich verhalten wie die Speichen eines Regenschirms, die die Regenhaut spannen. Dabei steht der Daumen mit seinem Nagel frei ab wie ein Haken. Bei den Pterosauriern wurde die Flughaut nur vom vierten Finger, dessen Knochen ungewöhnlich lang waren, gehalten, während die übrigen drei Finger frei blieben, so daß der Vorderfuß seine Greiffunktion behielt.

Eine Struktur dieser Art ist zum Fliegen mit schnellschlagenden Flügeln kaum geeignet, wohl hingegen zum Gleitflug – wie bei einem Segelflugzeug, das, wenn es erst einmal eine gewisse Höhe erreicht hat, lange Zeit frei schweben und unter Ausnutzung der Thermik sogar höher emporfliegen kann. Etwa in dieser Art müssen die Pterosaurier geflogen sein: im Gleitflug also, mit gelegentlichen Flügelschlägen, um auch beim Fehlen geeigneter Luftströme steigen zu können.

Ähnlich wie bei den Vögeln sind auch viele Pterosaurierknochen innen hohl. Wahrscheinlich enthielten sie Lufträume, die das Körpergewicht verringerten. Die Hintergliedmaßen waren schwach entwickelt und dadurch ungeeignet, auf dem Boden herumzulaufen. Man darf also

wohl annehmen, daß die Flugsaurier ihre Hinterbeine hauptsächlich dazu benutzten, um sich an den Felsgipfeln, die über das Meer emporragten, festzuklammern. Von hier aus nahmen sie ihren Flug auf, segelnd und über den Wellen kreisend, auf der Suche nach Beute. Eine solche Lebensweise ähnelt derjenigen vieler heutiger Seevögel.

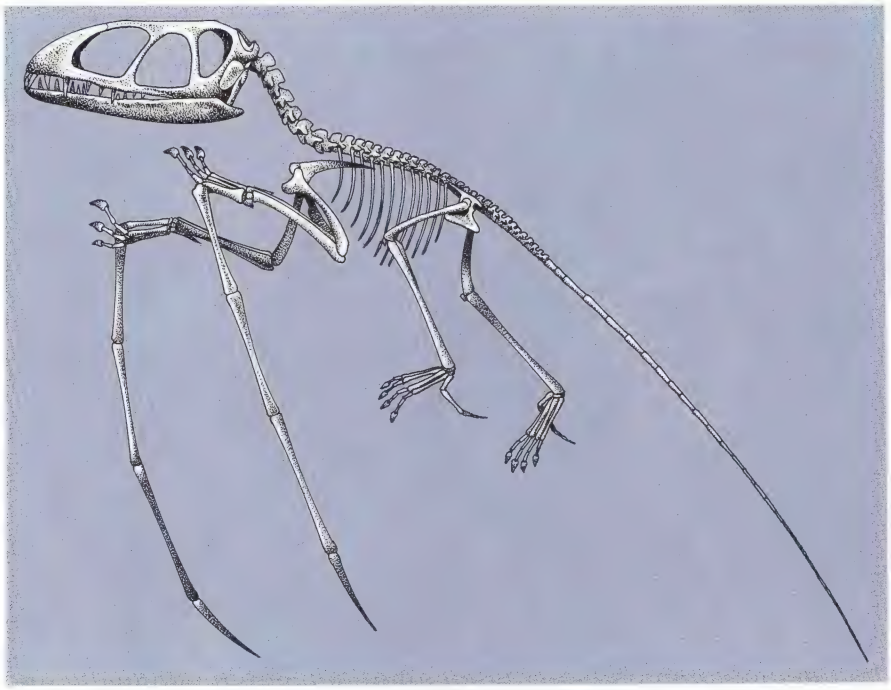
Rhamphorhynchus und Pterodactylus, fliegende Reptilien des Juras

In den ältesten Juraschichtungen von England und Deutschland wurden einige komplette fossile Pterosaurierexemplare gefunden. Das bekannteste unter ihnen ist das *Dimorphodon,* das etwas weniger als 22 cm in der Länge maß und einen langen Schwanz sowie einen ziemlich kurzen, hohen, an Öffnungen reichen Schädel besaß. Die Fossilienfunde zeigen, daß die Vorfahren der Pterosaurier bereits am Anfang der Trias lebten, ohne daß es jedoch bis heute von diesen Vorfahren irgendeine Spur gäbe. Sicher ist jedoch, daß sie von kleineren Formen der Thekodontier abstammen, und zwar von solchen Vertretern, die gewöhnlich auf den Bäumen lebten und gewohnt waren, wie das heutige Flughörnchen, von Ast zu Ast zu springen. Genau wie dieses Lebewesen verfügten auch die kleinen Thekodontier über eine fallschirmartige Haut, die sich an den Seiten ihres Körpers entfaltete und im Laufe der Evolution zu den Flügeln der Pterosaurier umgebildet wurde.

Das Dimorphodon gehörte der ersten der beiden Gruppen an, in die die Flugsaurier eingeteilt werden: *Rhamphorhynchida (Schwanzflugsaurier)* und *Pterodactylida (Stummelschwanz-Flugsaurier).* Der schönste Vertreter der Rhamphorhynchida war der *Rhamphorhynchus,* der im späten Jura in Europa und Ostafrika zu Hause war. Er hatte lange, schmale Flügel wie der heutige Albatros, einen langen Kopf mit großen Augen und scharfe, hervorstehende Zähne. Am Ende seines langen, dicken Schwanzes befand sich eine häutige Verbreiterung, die vermutlich als Steuerruder diente. Mit ausgebreiteten Flügeln maß dieses Tier 80 cm.

Unten, links: Skelett eines primitiven Pterosauriers, des Dimorphodons aus dem unteren Jura, der in Deutschland und England vorkam.

Unten rechts: Die versteinerten Reste eines Dimorphodons auf einer Steinplatte aus dem unteren Jura, gefunden in Lyme Regis, England.



Wie Seemöwen und andere Vögel heute flogen auch die Pterosaurier im oberen Jura über die Buchten und entlang den Küsten der europäischen Meere, um nach Fischen Ausschau zu halten. Das schönste Tier dieser Gattung war der Rhamphorhynchus mit langen, feinen Flügeln (80 cm), die denen des heutigen Albatros entsprachen. Wissenschaftler vermuten, daß dieser Flugsaurier mit Haaren bedeckt war. Andererseits war die Haut des Pterodactylus glatt und haarlos.

Rechte Seite: Darstellung eines Archäopteryx, eines Vogels aus dem oberen Jura, der Zähne hatte. Da diese Lebewesen tropische Vögel waren, werden sie vermutlich leuchtend gefärbte Federn gehabt haben.

Einige prachtvolle Versteinerungen des Rhamphorhynchus mit dem Abdruck der Flughaut und des Schwanzruders wurden in Bayern gefunden. Auf Grund dieser fossilen Reste nimmt man an, daß der Rhamphorhynchus wahrscheinlich behaart war, was die Vermutung stützt, daß er ein warmblütiges Lebewesen war. Seine behaarte Haut bewirkte eine konstante gleichwarme Körpertemperatur. Diese auch bei den anderen Pterosauriern anzunehmende Temperaturkonstanz wurde sicher auch dadurch erzielt, daß sich die Tiere beim Fliegen fast ununterbrochen bewegten.

Anders als die Rhamphorhynchida besaßen die Pterodactylida des mittleren und oberen Juras keinen Schwanz. Dafür waren ihre Flügel breiter und stärker. Der *Pterodactylus (Flugfinger),* ihr typischster Vertreter, lebte in Europa und Ostafrika, genau wie der Rhamphorhynchus, und jagte mit diesem in den Küstenlagunen oder entlang der Küste nach Fischen. Seine Haut war haar- und federlos und sehr faltig und vielleicht leuchtend gefärbt. Seine Größe schwankte je nach Artzugehörigkeit zwischen den Dimensionen eines Spatzen und eines Falken.

Vorhang auf für die ersten Vögel

Während des Jura waren die Pterosaurier die unbestrittenen Bewohner vieler ökologischer Nischen, die später von ihren natürlichen Rivalen, den *Vögeln,* die damals erstmals in Erscheinung traten, übernommen werden sollten. Obwohl noch unbedeutend, waren sie doch Vorboten einer Zeit, welche endgültig die mit Flughäuten ausgestatteten Segler durch gefiederte fliegende Lebewesen ersetzte.

Unten: ein Pterodactylus antiquus, gefunden in Schichtungen aus dem oberen Jura in Solnhofen, Bayern.

Im Jahre 1860 wurde der Abdruck einer vollkommen durchgeformten Vogelfeder in einer Kalksteintafel aus dem oberen Jura in einem Steinbruch bei *Solnhofen* in Deutschland (einem Ort, der für seine vielen, erstaunlich gut erhaltenen Fossilien berühmt ist) gefunden. Dies belegte ein für allemal, daß Vögel Zeitgenossen der Rhamphorhynchida und der Pterodactylida waren. Im darauffolgenden Jahr wurde im gleichen Steinbruch eine Platte mit einem fast vollständig erhaltenen Vogelskelett (ohne Kopf) gefunden. Diese Platte wurde vom Britischen Museum in London erworben. Im Jahre 1877 endlich wurde eine nahezu vollständige Vogelversteinerung, an der nur wenige kleine Knochen fehlten, in den Steinbrüchen von *Eichstätt,* nicht weit von Solnhofen in Bayern, entdeckt, die in den Besitz des Berliner Museums überging.

Diese drei Entdeckungen waren eine Sensation, weil sie die Wissenschaft mit einem sonderbaren Lebewesen konfrontierten, das noch nicht vollständig Vogel, aber auch nicht mehr ganz Reptil war. Anfänglich, nach der Entdeckung des ersten Skeletts, hatte man das noch als Reptil klassifiziert und ihm den wissenschaftlichen Namen *Griphosaurus* gegeben. Später wurde es dann als Vogel klassifiziert und hieß von nun an *Archäopteryx* – ein sehr eindrucksvoller Name, der wörtlich etwa „Urflügel" bedeutet.

Auf den ersten Blick könnte man das Skelett dieses Urvogels mit dem eines kleinen Coelurosaurus verwechseln. Wie dieser besaß er einen langen Echsenschwanz, dreifingrige Gliedmaßen, die in Krallen endeten, und einen reptilienartigen, gezähnten Schädel. Da aber Federn mit den Knochen zusammen gefunden wurden, konnte man den Vogel genau rekonstruieren, und dies zeigte dann, daß der Archäopteryx mit seinem Federkleid den Vögeln von heute ähnlich war. Allerdings stehen die Zähne in seinen Kiefern und die „Hände", die aus seinen Flügeln herausragen, in einem sonderbaren Kontrast zu den Federn.

Versteinerung des ersten Vogels, Archäopteryx, auf einer Steinplatte aus Solnhofen, Bayern. Der lange, reptilienähnliche Schwanz, aus dessen Wirbelknochen die Federn wuchsen, ist rechts ganz klar erkennbar, ebenso die Abdrücke der Flügelfedern.

Der Archäopteryx war so groß wie ein Rabe und muß während der oberen Trias in Europa ziemlich weit verbreitet gewesen sein. 1956 wurde ein weiteres Skelett gefunden, ebenfalls in Bayern. Eine Archäopteryxfeder wurde auch in Portugal entdeckt. Nach dem Körperbau des Archäopteryx zu urteilen, ist es klar, daß sich die Vögel aus den Reptilien entwickelt haben und daß der Übergang sich im oberen Jura vollzogen hat. Wir tappen allerdings über die nahen oder fernen Vorfahren des Archäopteryx im Dunkeln. Obwohl wir wissen, daß er mit den Archosauriern verwandt war, kann niemand sagen, ob er einem Zweig angehörte, der bereits ausscherte, als sich diese Unterklasse herausbildete (wie einige Paläontologen heute glauben), oder ob er etwa direkt von einigen sehr leichtgewichtigen Dinosauriern, wie z. B. dem Scleromochlus, abstammt. Man nimmt jedoch allgemein an, daß sich Flügel zum ersten Mal bei seinen Vorfahren entwickelt haben, die auf diese Weise imstande waren, ohne Mühe von einem Zweig in einem Baum zu einem anderen hinüberzugleiten, wobei dann diese Entwicklung ganz natürlicherweise in die weitere Entwicklung mit der Ausbildung von Federn überleitete: Die Federn waren nötig, um die Körpertemperatur gegen plötzliche Temperaturveränderungen in der Umwelt zu schützen.

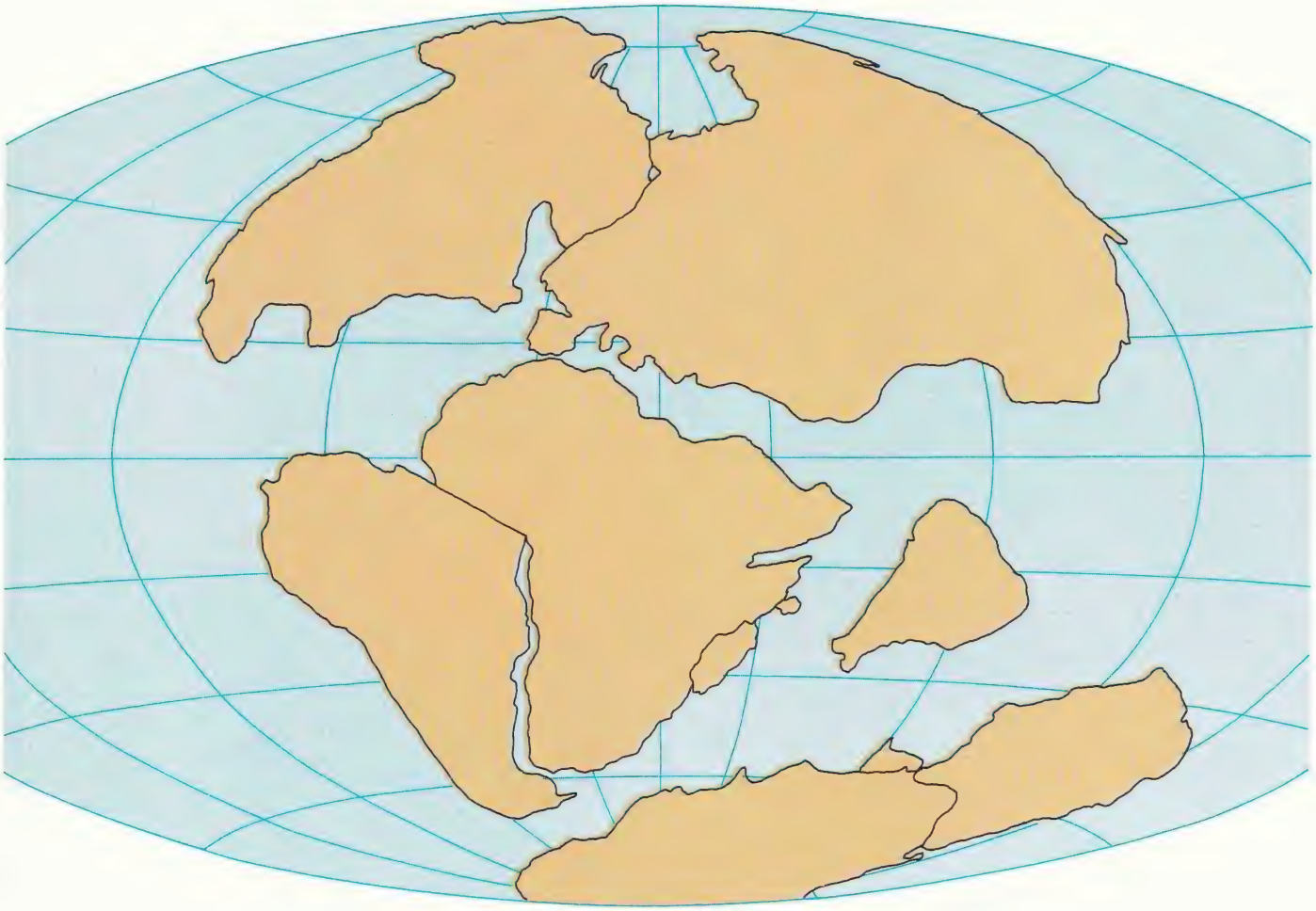
Das Leben in der Kreide

Pangäa bricht endgültig auseinander

Der Jura endete mit dem Auftreten von Vögeln, wenn auch die Reptilien noch längere Zeit, d. h. die ganze Kreide hindurch, die Luft beherrschen sollten. Zur selben Zeit gab es auch schon Säugetiere auf dem Festland, aber die Herrschaft der Dinosaurier blieb davon gänzlich unbeeinflußt: Das sagenhafte Zeitalter der Dinosaurier, das in der weit zurückliegenden Trias begonnen hatte, sollte bis zum Ende des Mesozoikums, also noch rund 65 Millionen Jahre, dauern, ehe diese Monster für immer von der Bühne des Lebens abtraten.

Die *Kreide* fing vor 135 Millionen Jahren an und endete vor 70 Millionen Jahren. In dieser Periode gab es in der Evolution der Erde und des Lebens eine große Anzahl von sich langsam entwickelnden Veränderungen. *Pangäa,* der Superkontinent, der schon im Jura an vielen Stellen eingerissen war, brach in der Folge mehr und mehr auseinander – als Ergebnis der immer größeren Ausdehnung des Atlantischen Ozeans. Zwischen Südamerika und Südafrika, Nordafrika und Nordamerika erstreckte sich der Atlantische Ozean von der Antarktis bis nach Grönland, obwohl Grönland immer noch fest mit Europa verbunden war. Es gab immer wieder große Meereseinbrüche über weite Landgebiete. Allerdings bildeten sich gegen Ende der Kreidezeit auch viele Gebirgszüge: Die Rocky Mountains entstanden und erstreckten sich von Alaska bis nach Mexiko, und es bildeten sich auch die südamerikanischen Anden.

Im Lauf der sehr lange dauernden Periode der Kreide veränderte sich allmählich das Klima der Erde. Der Wechsel der Jahreszeiten gewann deutlichere Konturen, was dazu führte, daß sich, je nach geographischer Breite, feste Klimazonen herausbildeten. Dies blieb natürlich auch nicht ohne Auswirkung auf das Pflanzenreich, das sich radikal umbildete, indem die Bedecktsamer ihren Siegeszug über die Erde antraten. Und das wiederum hatte zur Folge, daß sich viele Pflanzenfresser neu anpassen mußten. Schließlich führte dies alles (speziell gegen Ende der Kreide) zur Entwicklung und Ausbreitung einiger wahrhaft außerordentlicher Dinosaurier – kurz vor dem endgültigen Verschwinden der „Schreckensechsen".



Pflanzen und Wirbellose in der Kreide

Am Anfang der Kreide gab es zunächst noch die Pflanzen des Juras mit Wäldern von Araukarien, Mammutbäumen, Ginkgobäumen, Zykadeen, Bennettitales, Farnen und Schachtelhalmen. Es erschienen aber auch schon bedeutsame neue Blütenpflanzen, die bedecktsamigen Samenpflanzen oder Angiospermen, die sich mit den schon vorhandenen Pflanzen mischten. Später wurden die Rollen vertauscht: Die älteren unterwarfen sich den jüngeren, wobei die älteren Formen zahlenmäßig drastisch zurückgingen.

Während sich Bäume und Büsche, die alle Arten von leuchtend gefärbten Blüten trugen, überall entwickelten, verschwanden die seltsamen Bennettitales, die doch ein wesentliches Element in der Umwelt der Dinosaurier gewesen zu sein scheinen, vollständig von der Bildfläche. Zugleich traten auch Zykadeen, Ginkgobäume und Schachtelhalme weniger häufig auf. Schließlich gewannen in der oberen Kreide die Pflanzen mit z. T. farbiger Blumenkrone die absolute Vorherrschaft. Es gab jetzt Pappeln, Eichen, Platanen und Eukalyptusbäume, Lorbeerbäume, Weiden, Walnußbäume, Weinreben und Palmen. Offenbar nahm die Umwelt recht moderne Züge an. In dieser Umgebung, die der uns vertrauten so ähnlich ist, fand dann der letzte Akt des Dinosaurierdramas statt.

Auch die Insektenwelt, wie überhaupt das Reich der auf dem Lande lebenden Gliederfüßer, modernisierte sich auf der neu geordneten Erde.

Oben: Kartographische Darstellung der Erde am Anfang der Kreidezeit. Pangäa war jetzt endgültig in einzelne Kontinente geteilt.

Rechte Seite: Die Landschaft Westgrönlands während der Kreidezeit. Wo sich heute Gletscher erstrecken, waren damals die Berge mit blühenden Wäldern bedeckt.

DI GIANCIO

Links: Ammoniten mit Helikoidenspiralschalen lebten auch während der Kreidezeit. Die Aufnahme zeigt einen Teil der Schale des Turrilites aus der französischen Kreide.

Rechts: Die kegelförmige Schale von Hippurites, einer zweischaligen Muschel aus der Kreidezeit, die zur Familie der Rudisten gehörte. Die Rudisten waren große, schwere, zweischalige Muscheln, die an den Felsenklippen lebten.

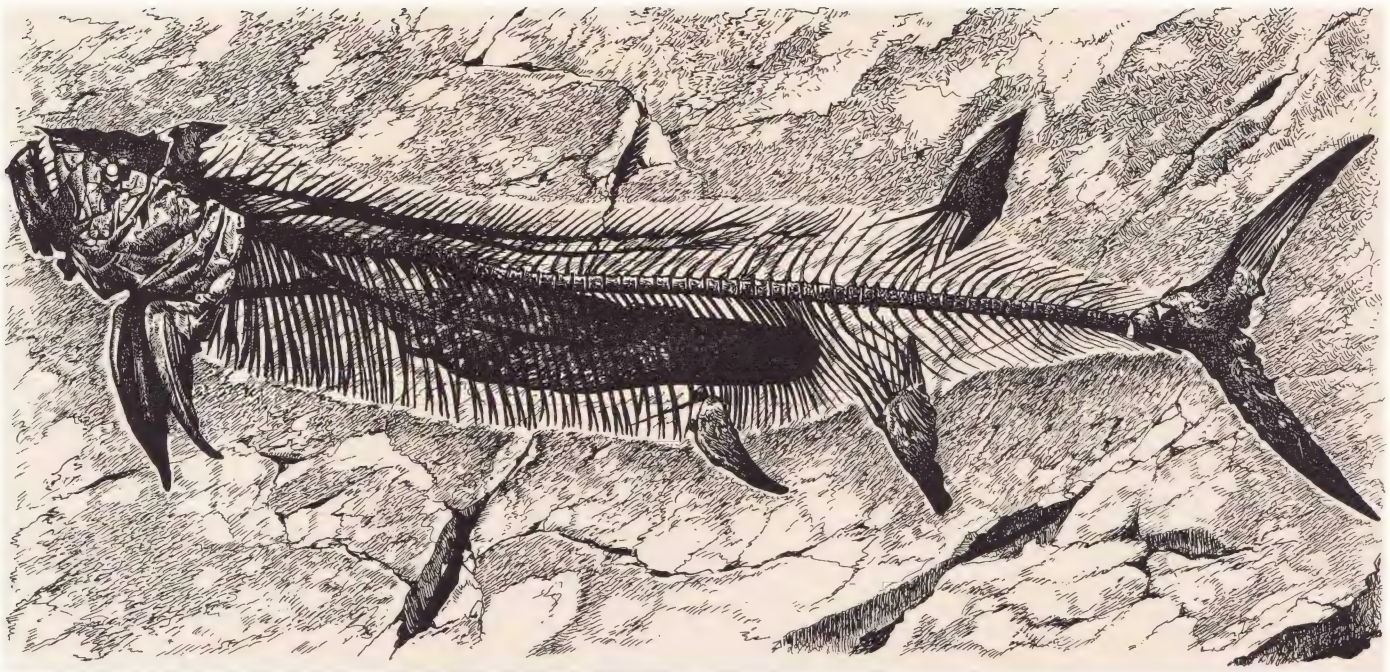
Bestäubende Insekten gingen auf den vielfarbigen Blüten an die Arbeit, und Schwärme von summenden Wespen und Bienen, die im oberen Jura noch gänzlich unbekannt waren, flogen in der durchsonnten Luft umher.

Während sich all dies bei den auf dem Land lebenden Wirbellosen abspielte, schien die Welt der Seewirbellosen in dem ursprünglichen Zustand verharren zu wollen. Es wimmelte von seltsamen Ammonitenformen (gelegentlich von gigantischer Größe) und von großen, zweischaligen Muscheln. Dennoch machte sich natürlich auf lange Sicht die völlige Umwandlung unseres Planeten auch unter diesen Tieren bemerkbar. Nachdem sie ihre zierlichen spiraligen Gehäuse auf eine sonderbar sich verdrehende Art vielfältig modifiziert hatten, starben die Ammoniten gegen Ende der Kreide vollständig aus. Mit ihnen zusammen verschwanden die Belemniten, Kopffüßer mit zugespitztem, massivem Rostrum als hinterem Gehäuseteil. So veränderte sich also gegen Ende des Mesozoikums die Lebenswelt des Meers, wie es die des Landes schon zuvor getan hatte.

Riesenfische und gewaltige Reptilien in den Meeren der Kreide

Nicht einmal die Fische wurden von den weltweiten Umwandlungen des Planeten in Richtung auf seine heutige Beschaffenheit ausgenommen. Es gab eine echte Massenvermehrung von *Haien,* die die Vorherrschaft in den Meeren ergriffen (und bis heute behalten haben). Manchmal waren die verschiedenen Haiarten von ungeheuerer Größe. Die Vertreter der uralten Knochenfischarten verschwanden fast völlig. An ihre Stelle trat eine modernere Entwicklungsstufe, die dann eine unübersehbare Mannigfaltigkeit von Formen und Arten entwickelte (winzige Vertreter sowohl als auch riesengroße), die bis heute niemals übertroffen wurde.

Der *Xiphactinus* (oder *Portheus*), ein entfernter Verwandter des Herings (obwohl 5 m lang), eroberte alle Meere der Welt. Dieser Fisch hatte schrecklich lange, spitze Zähne. Ein vollständig erhaltenes fossiles Exemplar, das in Kansas gefunden wurde, enthielt in seinem Bauch noch



Versteinerung eines riesigen Knochenfischs aus Schichtungen der Kreidezeit in Kansas. Die Versteinerung fand statt, unmittelbar nachdem der Fisch einen kleineren Fisch verschlungen hatte. Der Riesenfisch ist ein Xiphactinus, 4,8 m lang; der kleinere Fisch ist ein Gillicus.

das Skelett eines rund 2 m langen Ichthyodectes (oder Gillicus), den der Xiphactinus als Ganzes verschluckt hatte.

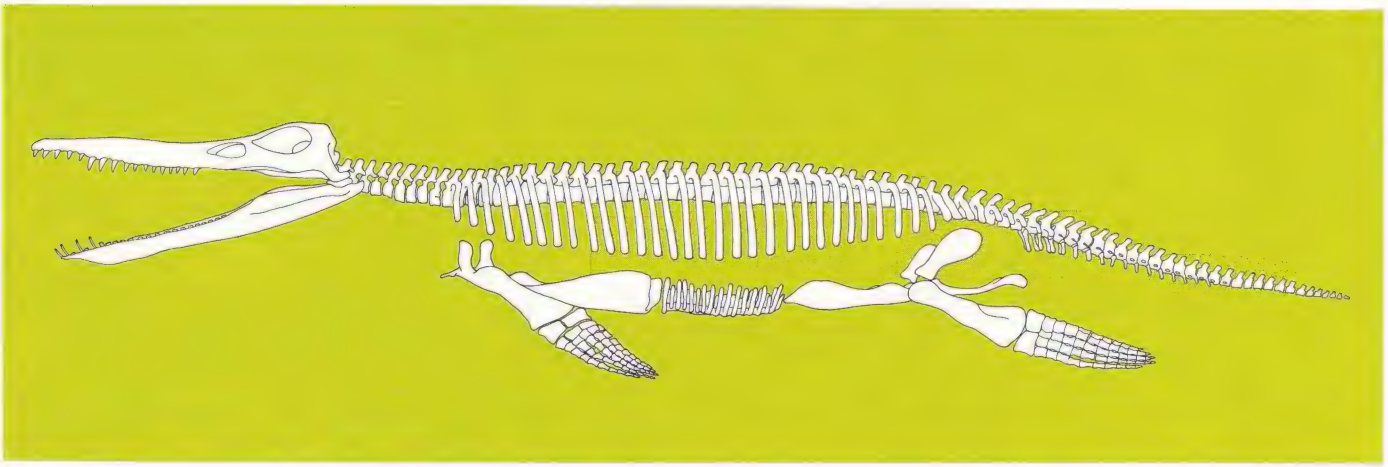
Neben solchen Monsterfischen schwammen die urtümlichen *Seedrachen.* Unter ihnen gab es einen gnadenlosen Konkurrenzkampf, der allerdings im Verlauf der Evolution, durch die manche Gruppen ihrem Niedergang entgegengingen oder völlig ausgelöscht wurden, während andere einen Aufstieg erlebten, an Intensität verlor.

Viele *Meerkrokodile* starben im Jura oder gegen Ende des Juras aus. Aber auch diejenigen Krokodilarten, die bis in die Kreide überlebten, waren vom Untergang gezeichnet. Bis jetzt ist es der Paläontologie nicht gelungen, die tatsächliche Ursache für dieses Aussterben zu ergründen. Auch der allmähliche Rückgang der Ichthyosaurier während der Kreide ist nicht zu erklären. Einige Ichthyosaurierarten aus dem Jura waren in der Kreide noch stark vertreten, aber im großen und ganzen ging es mit ihnen immer weiter bergab. Die Plesiosaurier jedoch verbreiteten sich über die ganze Erde und entwickelten bis dahin nie gekannte Ausmaße.

Die Blütezeit der Plesiosaurier

In der unteren Kreide erreichten die *Pliosaurier* (das waren kurzhalsige Plesiosaurier) mit dem *Kronosaurus* ihren Höhepunkt. Dieser riesige Pliosaurus lebte in einem Meer, das einen Großteil des heutigen Australiens bedeckte. Bei einer Länge von mehr als 13 m hatte er einen Kopf, der selbst über 3 m lang war; diese drei Meter schlossen die Länge seiner Kiefer ein, die mit einer gleichmäßigen Folge von kräftigen, spitzen und gebogenen Zähnen ausgestattet waren. Dieses furchteinflößende Reptil muß Fische und Kopffüßer in einer Weise ausgerottet haben, die von keinem anderen Mitglied der Plesiosauriergruppe übertroffen, ja auch nicht annähernd erreicht wurde.

Der größte Vertreter der damaligen Plesiosaurier stammte aus der Gruppe der langhalsigen, kleinköpfigen Plesiosaurier der oberen Kreide. Es war der 15 m lange *Elasmosaurus* mit einem Hals, der allein schon



Skelett eines Kronosaurus, eines gigantischen, kurzhalsigen Plesiosaurus, der bis 13 m lang werden konnte. Das abgebildete Fossil stammt aus Kreideschichtungen Australiens.

9 m Länge erreichen konnte. Tatsächlich bestand das Tier, wie der Tanystropheus aus der Trias, hauptsächlich aus Hals. Dieser erstaunliche Körperteil enthielt 76 Wirbelknochen und war äußerst beweglich, so daß der Elasmosaurus ihn in jeder beliebigen Richtung leicht drehen und wenden konnte, eine Tatsache, die im Leben der größeren Plesiosaurier eine wichtige Rolle spielte: Sie waren keine schnellen Schwimmer, aber mit Hilfe ihres kolossalen Halses konnten sie bei der Jagd ihre Beute schon aus einigen Metern Entfernung packen.

Versteinerte Reste des Elasmosaurus und einiger anderer prachtvoller Arten, die ihm ähnlich waren, wurden in Kansas in Schichten aus der späteren Kreide gefunden. Und in einem Großteil Nordamerikas befinden sich andere Schichten, in denen die fossilen Reste von Reptilien- und Fischarten, die fast die ganze Kreide hindurch in einem großen Binnenmeer lebten, reichlich vorhanden sind. Es wurden nicht nur Exemplare des Elasmosaurus gefunden, sondern auch höchst repräsentative Pliosaurier, die allerdings etwas kleiner waren als der Kronosaurus. Ein solches Lebewesen war das 3 m lange *Trinacromerum,* dessen Kopf stark abgeflacht war und das über ein sehr langgestrecktes Gebiß verfügte. Zusammen mit diesem Exemplar traten auch die fossilen Reste einer riesigen Zahl bis dahin unbekannter, oft sehr großer Raubtiere zutage. Dies waren die *Mosasaurier;* sie erschienen erst in den letzten Phasen des Mesozoikums.

Der Komodowaran und die Mosasaurier

Einer der interessantesten Vertreter unserer heutigen Tierwelt ist der riesenhafte Waran der Sundainsel Komodo. Dieses Tier *(Komodowaran, Varanus komodoensis)* wird gelegentlich auch als „Komododrache" bezeichnet und sieht tatsächlich aus wie eine monströse Eidechse, die mit mächtigen Krallen bewaffnet ist. Es wird oft bis 3 m lang und ist ein unersättliches Raubtier, das kleine Säugetiere wie Rehe und Schweine erbarmungslos in Stücke reißt. Früher glaubte man (wie manchmal auch heute noch), daß der Komodowaran ein entfernter Verwandter der Dinosaurier sei. Dabei steht er im Grunde überhaupt nicht mit dieser ausgestorbenen Tiergruppe in Verbindung, auch nicht mit den Archosauriern überhaupt. Er ist einfach eine Echse (ein schuppenbedecktes Lebewesen), ähnlich dem Chamäleon oder den kleinen Eidechsen, die auf Steinen und Mauern liegen und sich in der Sonne wärmen.

Der große Waran, der auf der Sundainsel Komodo lebt. Er ist ein gieriges Raubtier und erreicht eine Länge von 3 m. Dieses Tier ist mit den Mosasauriern, großen Meeresraubtieren aus der Kreidezeit, verwandt.

Zusammen mit anderen kleineren Waranarten ist dieser „Drache" mit den Mosasauriern der Kreidezeit verwandt, die im Grunde nichts anderes waren als Eidechsen, die ins Wasser übersiedelten und dort groß und wild wurden. In unserer heutigen Welt ist der Komodowaran ein Beispiel für die Tendenz des Warans zum Riesenwuchs und zum Raubtier. Dennoch, verglichen mit seinen entfernten Verwandten im Mesozoikum, ist er sehr, sehr klein.

Am Anfang der Kreide wurden einige waranähnliche Echsen zu Wassertieren. Sie waren klein und in einer Welt, die von Riesenechsen bevölkert war, völlig bedeutungslos. Eine Art dieser Gruppe wurde aber allmählich immer größer und paßte sich an das Leben im offenen Meer vollkommen an. Die Gliedmaßen dieser Tiere verwandelten sich in Flossen, während der sehr lange und seitlich zusammengepreßte Schwanz zu einem mächtigen Antriebsorgan ausgebildet wurde. Zu Beginn der oberen Kreide war dieser Umwandlungsprozeß schon abgeschlossen, und die gewaltigen Lebewesen, die daraus hervorgingen, glitten mit schnellen, schlangenartigen Bewegungen durch die Wellen, in jeder Hinsicht den gefürchteten Seeschlangen ähnlich, wie sie häufig in den Geschichten alter Seefahrer vorkommen.

Der Aufstieg der *Mosasaurier* scheint mit dem Untergang der Meerkrokodile zusammenzuhängen. Wahrscheinlich drängten sich die Mosasaurier, wenigstens anfänglich, in diejenigen ökologischen Nischen, die früher von den Krokodilen besetzt waren. Niemand machte ihnen den Zugang streitig, weil die vorherigen „Bewohner" schon längst verschwunden waren. Wir wissen darüber nichts Genaues, aber eines scheint sicher zu sein: Die außerordentlich schnelle Ausbreitung der Mosasaurier stieß offenbar auf so gut wie gar keinen Widerstand; denn ihre fossilen Überreste wurden in Schichten der späten Kreide aus fast allen Teilen der Welt gefunden: Europa, Asien, Afrika, Nordamerika, Südamerika und Neuseeland. Nicht einmal die Plesiosaurier, die damals ihre Blütezeit hatten, konnten offenbar den neuen Rivalen etwas anhaben.

Die Haut der Mosasaurier war nicht glatt, sondern durch kleine, dünne Knochenplatten geschützt. Der Kopf war lang und ähnelte dem des heutigen Warans. Ihr Gebiß war mit spitzen Zähnen ausgestattet. Der Unterkieferknochen war in der Mitte gegliedert, so daß sie das Maul zum

Verschlingen einer großen Beute unglaublich weit aufreißen konnten. Gewisse Verletzungen, die an ihren Skelettresten festgestellt wurden, bezeugen ihre räuberische Natur: Rippenbrüche, die wieder ausheilten, gebrochene Kiefer, beschädigte Wirbelknochen. Paläontologen konnten beweisen, daß solche Knochenverletzungen von den wilden Schlachten herrührten, in denen sich die Mosasaurier gegenseitig bekämpften und dabei einander zum Teil fürchterlich zurichteten.

Tylosaurus, Clidastes und *Platecarpus* sind einige der bekannteren großen Meereswarane, die in den Kansasschichten gefunden wurden. Der Tylosaurus ist vielleicht der am besten bekannte. Diese Art war weit verbreitet. Seine Fossilien wurden sowohl in Kansas als auch in Neuseeland gefunden. Gefräßig wie sie waren, müssen alle diese Reptilien Fische und Zephalopoden verschlungen haben, obwohl einige unter ihnen, Mitglieder der Gruppe *Globidens,* sich so sehr auf Schalentiere (Mollusken, Krustentiere und Seeigel) spezialisiert hatten, daß ihre Zähne stumpf und rund waren (also nicht so sehr zum Beißen als vielmehr zum Zermalmen geeignet waren).

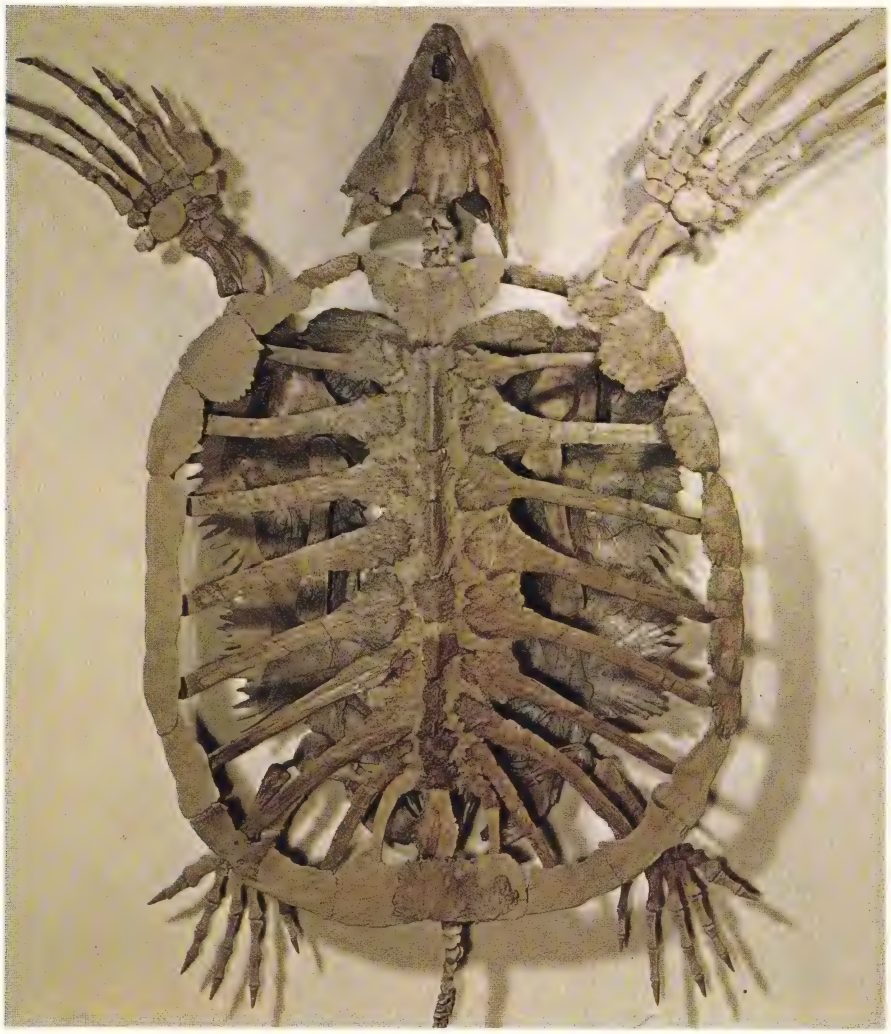
Darstellung des Binnenmeers, das sich in der späten Kreidezeit dort befand, wo heute Kansas liegt. Im Wasser tummeln sich Elasmosaurier mit langen Hälsen und Tylosaurier mit schlangenähnlichem Körper und Krokodilgebiß. Über der wilden Kampfszene, in die beide Gruppen verwickelt sind, kreisen die Pteranodonten, die größten Flugsaurier, die je gelebt haben.

Riesenschildkröten und geflügelte Schlangen

Nach diesen Darlegungen können wir uns jetzt ein recht anschauliches Bild von der Szene machen, die die Meeresoberfläche in Kansas gegen Ende der Kreide belebte, als sich dort ganze Schwärme von Plesiosauriern und Mosasauriern tummelten. Zwischen den Wellenkämmen muß es einen Wald von hoch aufgerichteten, glänzenden endlos langen Hälsen gegeben haben, von Schlangenköpfen gekrönt, dazwischen gewölbte, schuppige Rücken, hier mächtige Kiefer, die nach ihrer Beute schnappten, dort jagende Raubfische, die sich um die größten Opfer unter den Fischen und Ammoniten stritten – ein wahrhaft eindrucksvolles Panorama von überschäumendem Leben und ungezügelter Kraft. Das Bild wird vervollständigt durch das Auftauchen riesiger Schildkröten, die sich auf der Oberfläche des Meeres wie „Atolle mit Außenbordmotor" ausmachten inmitten der schäumenden Wellen: Schildkröten von nie wieder erreichter Größe, wie z. B. *Archelon* und *Protostega* (ca. 3,50 m lang).

Dieses phantastische Spektakel wird noch aufregender durch den seltsamen Kontrast, den die Meeresoberfläche mit dem strahlenden Horizont und dem aufdringlichen Grün einiger Inseln im Hintergrund bildete. Das Bild wird abgerundet durch die zahllosen Flugsaurier, die am Himmel mit langsamem Schlag ihrer Hautflügel ihre Kreise zogen.

Protostega gigas, eine 3,5 m lange Schildkröte aus Schichtungen der späten Kreidezeit in Kansas.

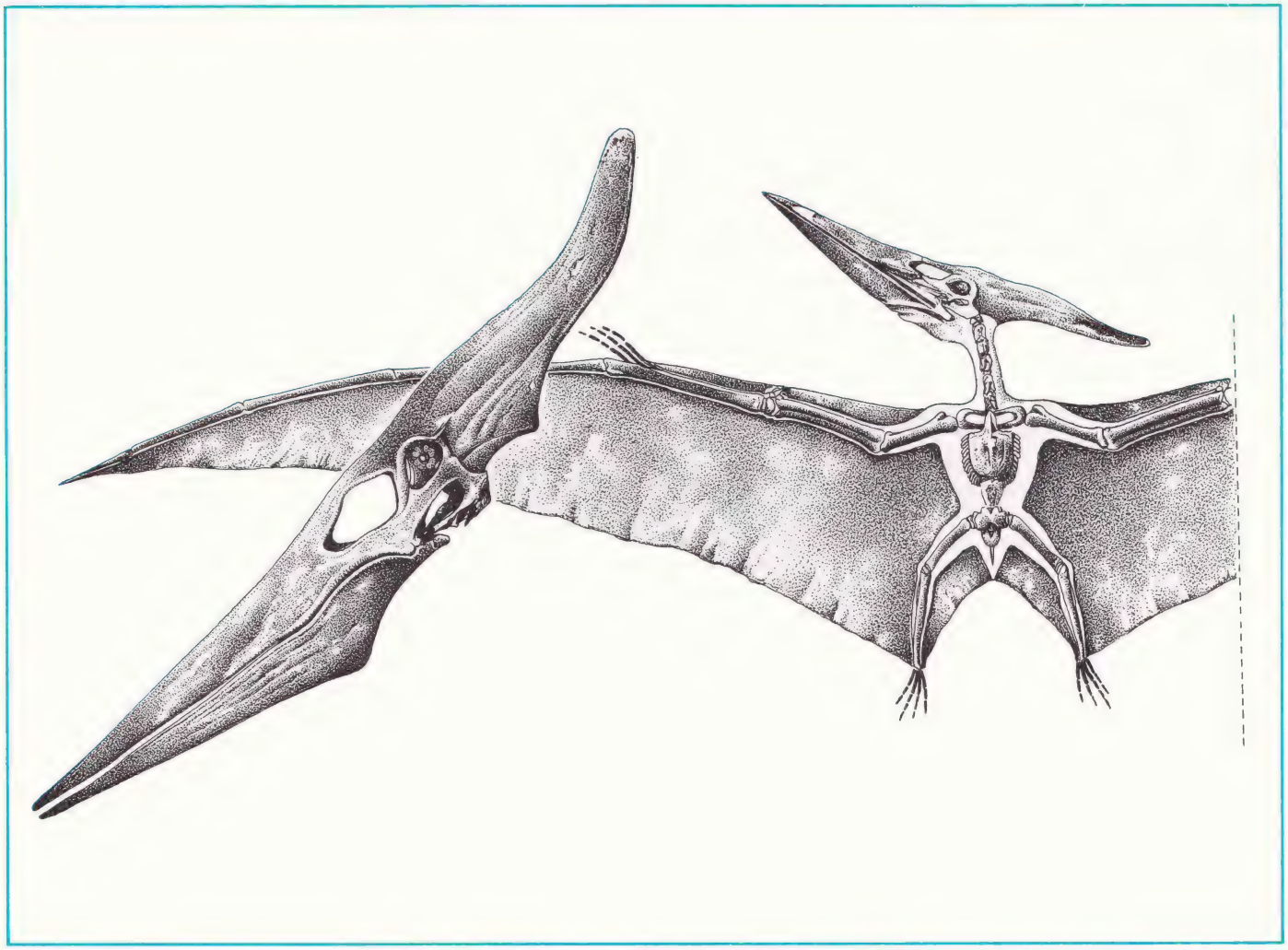


Hier schwebte auch das größte aller Flugreptilien, das *Pteranodon,* mit einer Flügelspannweite von mehr als 7,50 m. Das aus dem Griechischen stammende Wort bedeutet wörtlich etwa „Flügel ohne Zahn". In der Tat: Diese geflügelten Archosaurier hatten keine bezahnten Kiefer mehr, sondern einen sehr langen, etwa pelikanähnlichen Schnabel.

In der Geschichte der Eroberung der Luft durch die Reptilien in der Kreide stellen die Pteranodonten das letzte Kapitel dar. Hier wetteiferten sie mit ihren bereits voll entwickelten Rivalen, den Vögeln. Obwohl das Vorkommen des kleinen Archäopteryx im oberen Jura gänzlich bedeutungslos war, hatte sich die Situation in der Kreide tiefgreifend geändert. Inzwischen hatten sich nämlich verschiedene Ordnungen der Vögel gebildet, darunter Arten, die in den Küstengegenden lebten und in die ökologische Nische der Archosaurier einbrachen.

Das Aussterben der kleineren Pterosaurier scheint eine Folge der leidenschaftlichen Rivalitäten gewesen zu sein, die sich daraus ergaben. Was auch immer der Grund gewesen sein mag, die kleineren Pterosaurier waren schon am Anfang der Kreide fast gänzlich verschwunden, und die wenigen kleinen Arten, die bis dahin noch überlebt hatten, starben spätestens am Ende der unteren Kreide völlig aus.

Zeichnung eines Pteranodons aus der späten Kreidezeit, das über 7,5 m lang war.

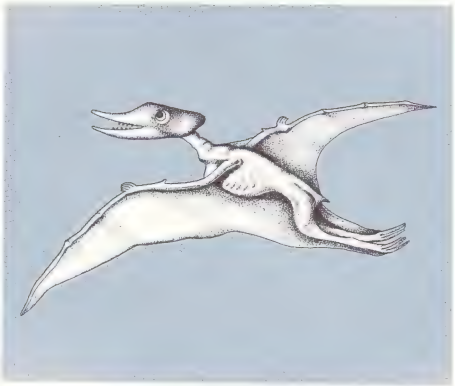


Die großen, seltsamen Pterosaurier der Kreide

Während die kleineren Pterosaurier allmählich von der Lebensbühne verschwanden, entwickelten sich die größeren Arten dieser Reptiliengruppe weiter. Wegen ihre Größe hatten sie im (damals sehr scharfen) Lebenskampf nichts zu fürchten. Daher blieben die Pterosaurier eine Zeitlang führend im Luftraum. Diese Entwicklung war in der unteren Kreide schon sehr weit gediehen, eine Tatsache, die die in China gefundenen fossilen Reste des *Dsungaripterus* bestätigen.

Mit Hilfe dieser Fossilien rekonstruierte man ein Lebewesen mit einer Flügelspannweite von 3 m. Ein solches Wesen erscheint einem heute als Ungeheuer. Auch der riesige Kopf mit seinen unproportionierten Schädelumrissen und den nach oben gebogenen Kiefern ohne Vorderzähne kommt uns nicht gerade anziehend vor. Dennoch ist der gekrümmte Kiefer keine einfache Laune der Natur, sondern, da das Flugreptil Fische jagte, außerordentlich zweckdienlich. Eine ähnliche Krümmung des Schnabels ist auch von manchen heutigen Vogelarten bekannt, z. B. vom Säbelschnäbler, einem Sumpfvogel.

Ein Pterosaurus der unteren Kreide, der Dsungaripterus mit einer Flügelspannweite von 3 m. Er hatte einen seltsam geformten Kopf.



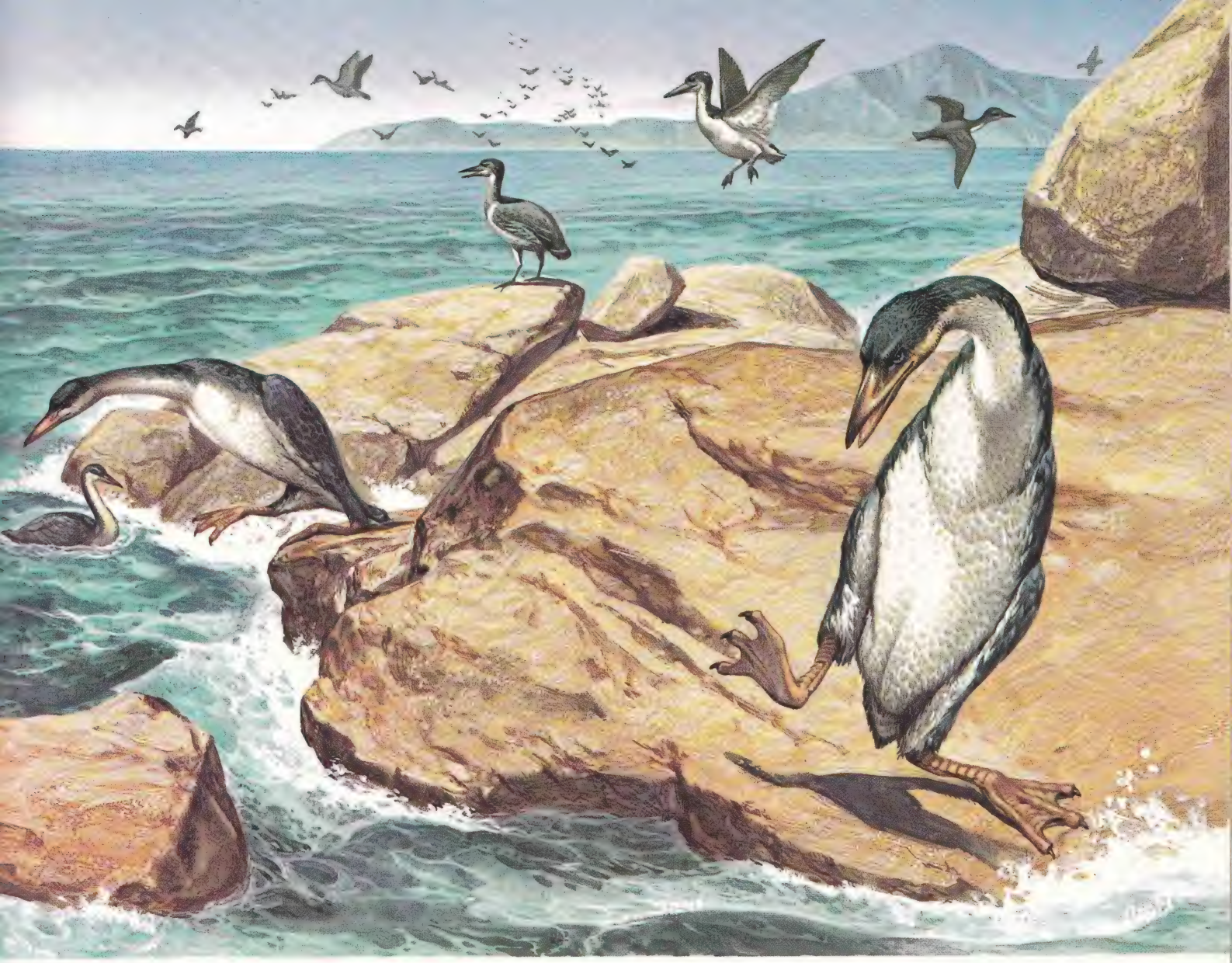
Nachdem sie ihre maximale Größe erreicht hatten, bevölkerten die Pteranodonten, zusammen mit anderen, etwas kleineren Pterosauriern, die ganze obere Kreide hindurch Europa, Asien und Nordamerika. Nach der Anzahl der Fossilien zu urteilen, die im Kalkstein von Kansas gefunden wurden, müssen unglaublich viele von ihnen an den Küsten von Nordamerika gelebt haben. Was ihre Gewohnheiten betrifft, können wir sie mit dem *Albatros* vergleichen. Wie dieser vermochten sie stundenlang in der Luft zu schweben, die kleinste Luftströmung auszunutzen und weit auf das offene Meer hinauszufliegen.

Diese seltsamen Archosaurier waren, was die Fische betraf, unersättliche Räuber und verfügten wahrscheinlich über einen Hautsack unter ihrem Schnabel, ähnlich dem des heutigen Pelikans, in dem sie ihre Nahrung aufbewahren und teilweise verdauen konnten. Ein weiteres sonderbares Merkmal war die Ausdehnung ihres Schädels nach hinten in einen langen, dünnen Nackenkamm, der das Gewicht ihres gewaltigen Schnabels ausbalancierte.

Vögel und Landtiere während der Kreide

Mit dem Bericht über die Pteranodonten beenden wir unsere gewiß fesselnde Geschichte über die großen Meeres- und Flugsaurier. Am Ende der Kreide starben all diese Reptilien aus, und die Blütezeit der Plesiosaurier und der Pterosaurier war nichts weiter als ein letztes Aufleuchten wie bei einem strahlenden Sonnenuntergang vor dem Einbruch der Dunkelheit. Es ist mittlerweile klar geworden, daß das Ende des Mesozoikums eine der großen Krisen in der Geschichte des Tierreichs war. Über die Probleme, die sich in diesem Zusammenhang ergaben, werden wir noch zu sprechen haben, wenn wir uns mit dem Verschwinden der Dinosaurier beschäftigen.

Inzwischen gab es an der Schwelle der bedeutsamen Umwandlungen unter den Lebewesen der Kreide eine rasch voranschreitende Entwicklung, die die Vögel betraf. In Europa wurden in Schichtungen aus der unteren Kreide Versteinerungen des flamingoähnlichen *Gallornis* und des seetaucherähnlichen *Enaliornis* gefunden. In Schichten aus der oberen Kreide von Kansas wurden sowohl Fossilien des *Ichthyornis* freigelegt, eines kleinen, 20 cm langen Vogels, der in seinen Gewohnheiten einer Möwe ähnelte, als auch Fossilien des *Hesperornis,* der ca. 1 m lang war. Letzerer konnte nicht fliegen, sondern schwamm wie ein Pinguin und besaß immer noch Zähne wie der Archäopteryx. Andere

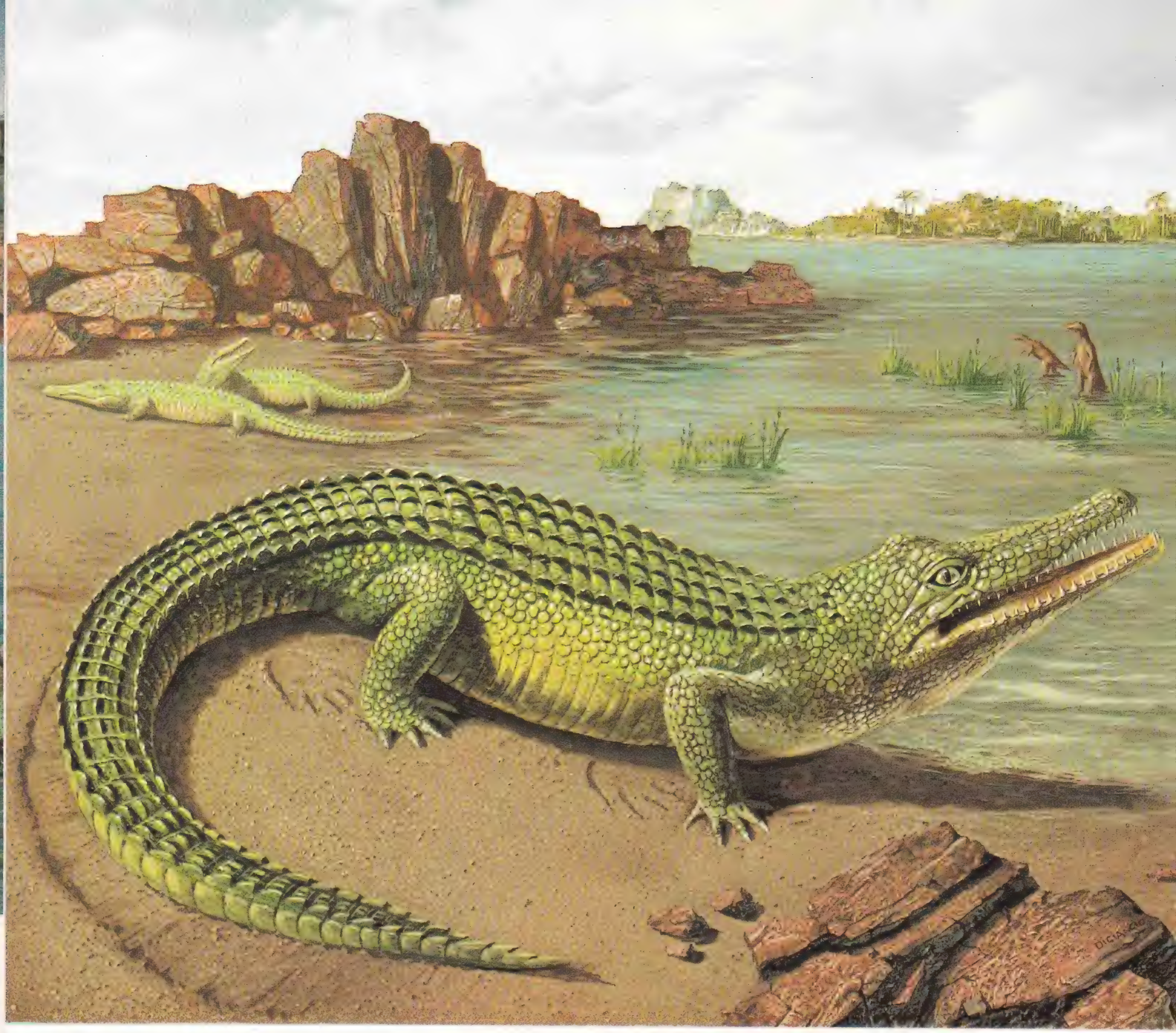


Eine Gruppe Hesperornis an den Ufern der See, die einst Kansas bedeckte. Der Hesperornis hatte derartig kleine Flügel, daß er überhaupt nicht fliegen konnte, und seine Beine waren eher zum Schwimmen als zum Gehen geeignet.

unvollständige Fossilien von gefiederten Lebewesen wurden in Europa, Nord- und Südamerika in Schichten aus der oberen Kreide entdeckt, was auf eine große Vielfalt und Verbreitung der Vögel in dieser Periode hindeutet.

Zur gleichen Zeit durchstreiften weit verstreute Herden von kleinen Säugetieren die Steppen und Wälder. Über sie werden wir Näheres im nächsten Band dieser Serie erfahren, der beschreibt, wie sich die Säugetiere auf der Erde durchgesetzt haben. Während der Kreide waren sie von diesem Ziel oder gar von einer Vorherrschaft noch weit entfernt. Die Reptilien waren damals noch die unangefochtenen Herrscher unseres Planeten. Außer den Dinosauriern gab es da ungeheuere Echsen, die ersten Schlangen und riesenhafte Krokodile, die die Flüsse und Deltas heimsuchten, so daß sich nicht einmal die größten Dinosaurier in diesen Gewässern mehr sicher fühlen konnten.

Das größte unter diesen furchteinflößenden Raubtieren war der *Deinosuchus* (oder *Phobosuchus*) aus der oberen Kreide von Europa und Nordamerika. Sein Schädel war manchmal 1,80 m lang, und seine



Eine Gruppe von Phobosuchus in einem Sumpf der späten Kreide. Der Phobosuchus erreichte eine Länge von 18 m und griff wahrscheinlich sogar große im Wasser lebende Dinosaurier an, wie z. B. den Entenschnabeldinosaurier (Anatosaurus) im Hintergrund.

Gesamtlänge wurde auf 18 m geschätzt. Nur wenig kleiner war der *Sarcosuchus,* der zu Beginn der mittleren Kreide im Gebiet der heutigen Sahara lebte. Der Deinosuchus ähnelte dem Nilkrokodil, der Sarcosuchus dem Gavial der großen indischen Flüsse, wenn sie auch beide wesentlich größer waren als die heutigen Krokodile.

An dieser Stelle wollen wir innehalten. Alles Wichtige, was über die Kreide zu sagen war, ist gesagt – abgesehen von den Dinosauriern. Bisher haben wir lediglich die letzte Etappe der Dinosaurier und ihren dramatischen Niedergang beschrieben. Für die „Schreckensechsen" selbst, die vor ihrem Aussterben noch einmal in sonderbarer und bemerkenswerter Weise aufblühten, müssen wir den Faden der Erzählung noch einmal aufgreifen.

Die Dinosaurier der Kreide

Iguanodonten aus Belgien

Ende März 1878 sah ein Bergarbeiter in einer belgischen Kohlengrube bei Bernissart einige „Stücke von schwarzem Holz" (genau so drückte sich dieser Mann aus) aus dem Felsen, den er gerade freischlug, hervorragen. Er fühlte sich verunsichert und rief zunächst seine Arbeitskollegen, dann den Vormann herbei, um ihnen seinen Fund zu zeigen. Die Kunde hiervon gelangte schließlich auch zum Verwalter der Mine, der sofort in die Grube einfuhr, um sich 322 m unter der Erdoberfläche selbst ein Bild von dem Fund zu machen. Als er die „Stücke von Holz" sah, begriff er, daß es sich um riesige Fossilien handelte und informierte die Universität von Brüssel. Was er jedoch zu dieser Zeit noch nicht wissen konnte, war die Tatsache, daß er eine der ganz großen Entdeckungen in der Geschichte der Paläontologie ausgelöst hatte.

Die Experten von Brüssel erschienen nun ebenfalls vor Ort, inspizierten die Lage und veranlaßten, daß man um die Knochen herum, die die Bergarbeiter bloßgelegt hatten, höchst sorgfältige erste Ausgrabungen vornahm. Es zeigte sich, daß die Knochen nur ein kleiner Teil des Skeletts eines riesigen Lebewesens darstellten. Unglücklicherweise aber war der Bergwerksschacht bereits mitten durch dieses Skelett getrieben worden, so daß es an etlichen Stellen irreparabel zerstört worden war. Nur der Kopf und der hintere Teil des Tiers waren erhalten geblieben.

Es sah also fast so aus, als sei die Entdeckung den Wissenschaftlern in demselben Augenblick wieder entglitten, in dem sie sie gemacht hatten. Zum Glück war dies nicht der Fall. Beim weiteren Fortgang der Ausgrabungen traten andere Knochen zutage und erweckten die Hoffnung auf weitere Skelettfunde. Die Arbeit wurde mit äußerster Vorsicht weitergeführt. Das war auch nötig, denn die Knochen waren nicht sonderlich gut erhalten und zerfielen, wenn man sie unsachgemäß anpackte. So wurde das Innere des Bergwerks Stück für Stück auseinandergenommen. Die Versteinerungen wurden zusammen mit ihrer Gesteinshülle herausgebrochen. Auf diese Weise erhielt man Blöcke, die man mit Gips umschloß und nach Brüssel beförderte, wo sie

Unten: Eine Gruppe Iguanodonskelette im Königlichen Museum für Naturkunde in Brüssel. In einer eigenen Halle sind elf solcher Skelette zu bewundern; es sind die am besten erhaltenen der 29, die im Bergwerk von Bernissart gefunden wurden.

in den Laboratorien dann weiter und eingehender untersucht wurden. Das bedeutete drei Jahre mühsamer Arbeit. Die Ausgrabungen verlagerten sich von ursprünglich 322 m Tiefe auf eine Tiefe von 356 m.

Das Brüsseler Museum erhielt auf diese Weise schließlich 29 Iguanodonskelette, von denen viele vollständig waren. In den nächsten 30 Jahren wurden diese Skelette von dem Paläontologen Louis Dollo, der sie ausgiebig erläuterte, untersucht. Die besten, insgesamt 11, wurden in der großen Halle des Museums aufgestellt und bilden eine höchst eindrucksvolle Gruppe. Der Zuschauer sieht sich bei seinem Eintritt einer richtigen Herde von großen, auf den Hinterbeinen gehenden Reptilien gegenüber.

Iguanodonten in den Wäldern der unteren Kreide

In weiten Bereichen Westeuropas (England, Belgien, Frankreich und Spanien) bilden Ablagerungen aus der unteren Kreide hauptsächlich Lehm- und Sandschichten, die *Wealden* genannt werden. Diese wealdischen Formationen sind für ein Studium der Dinosaurier der damaligen

Zeit äußerst wichtig, weil sie sich in Festlandsbereichen bildeten, zum Teil von Wäldern, zum Teil von Sümpfen bedeckt, wo die Wasserläufe träge und die Deltas weitläufig waren.

Auch die Ablagerungen, in denen die Skelette von Bernissart gefunden wurden, waren wealdischen Ursprungs. Die Schichtungen von Bernissart entsprechen denjenigen, die die Hügel südlich von London bilden – eine Gegend, in der die ersten Fossilien der „Schreckensechsen" entdeckt wurden. Nach den Versteinerungen zu urteilen, ist es klar, daß die wealdischen Länder eine reiche Fauna besaßen, in der die oft riesenhaften Dinosaurier vorherrschend waren.

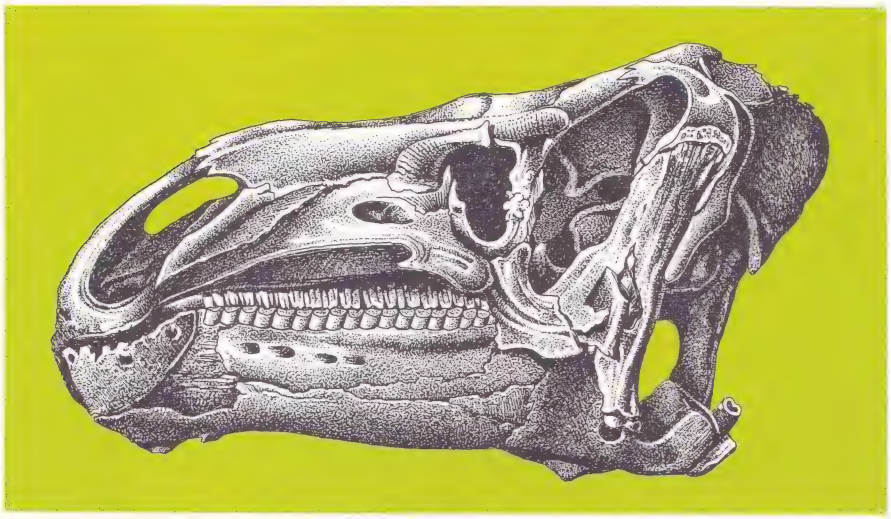
Das *Iguanodon* ist sicher der am besten bekannten Vertreter dieser Dinosaurier. Aufrecht auf ihren langen Hinterbeinen stehend, ragten die Iguanodonten mit ihren starken, dreizehigen Füßen turmhoch über die Bennettitales und Zykadeen in den Wäldern empor. Sie weideten die Araukarienblätter ab, indem sie mit den Vorderbeinen, die wie Arme mit Händen geformt waren, nach den Zweigen griffen. Die Daumen ihrer „Hände" waren in einen steifen, nach oben gerichteten Stachel umgebildet, mit denen sich die Tiere gegen Angriffe von Karnosauriern verteidigten, wie wir das bereits in dem Kapitel über die Geschichte der ersten Dinosaurierfunde erzählt haben. Der Umriß des Iguanodonkopfs ähnelte dem Kopf eines Pferdes, aber seine Kiefer besaßen keine Vorderzähne. Sie liefen statt dessen in eine Art von Schnabel aus, mit welchem das Tier Zweige und Blätter abbiß, bevor es sie zerkaute.

Im ersten Kapitel gaben wir die Höhe des Iguanodons mit 5 m, seine Länge mit 9 m an. Die Höhenangabe bezieht sich natürlich auf die Haltung des Tiers, wenn es lief. Streckte es dagegen seinen Hals aus, um einen höhersitzenden Zweig zu erreichen, konnte es sich sogar über Blattwerk, das 5,50 m über dem Erdboden wuchs, hermachen. Nach Meinung einiger Paläontologen war ihm dabei seine Zunge behilflich, eine Greifzunge wie die der Giraffe von heute.

Abbildung auf den beiden folgenden Seiten: Eine Gruppe Iguanodons wird in einer für die untere Kreide typischen Landschaft von einem Megalosaurus angegriffen. Die Iguanodons wurden 9 m lang und ernährten sich von Nadelbaumgrün. Sie gingen wie die Raubdinosaurier zweibeinig.

Dreizehige Fußabdrücke aus Dorset

Da die wealdischen Landschaften immer wieder überflutet wurden und praktisch mit Wasser durchtränkt waren, meint man, daß Iguanodons in den Seen und Flüssen in ihrem Element waren, kraftvoll schwimmend, angetrieben von ihrem mächtigen Schwanz. Wieder gibt es jedoch



Links: Der Schädel eines Iguanodons, dem vorn die Zähne fehlen.

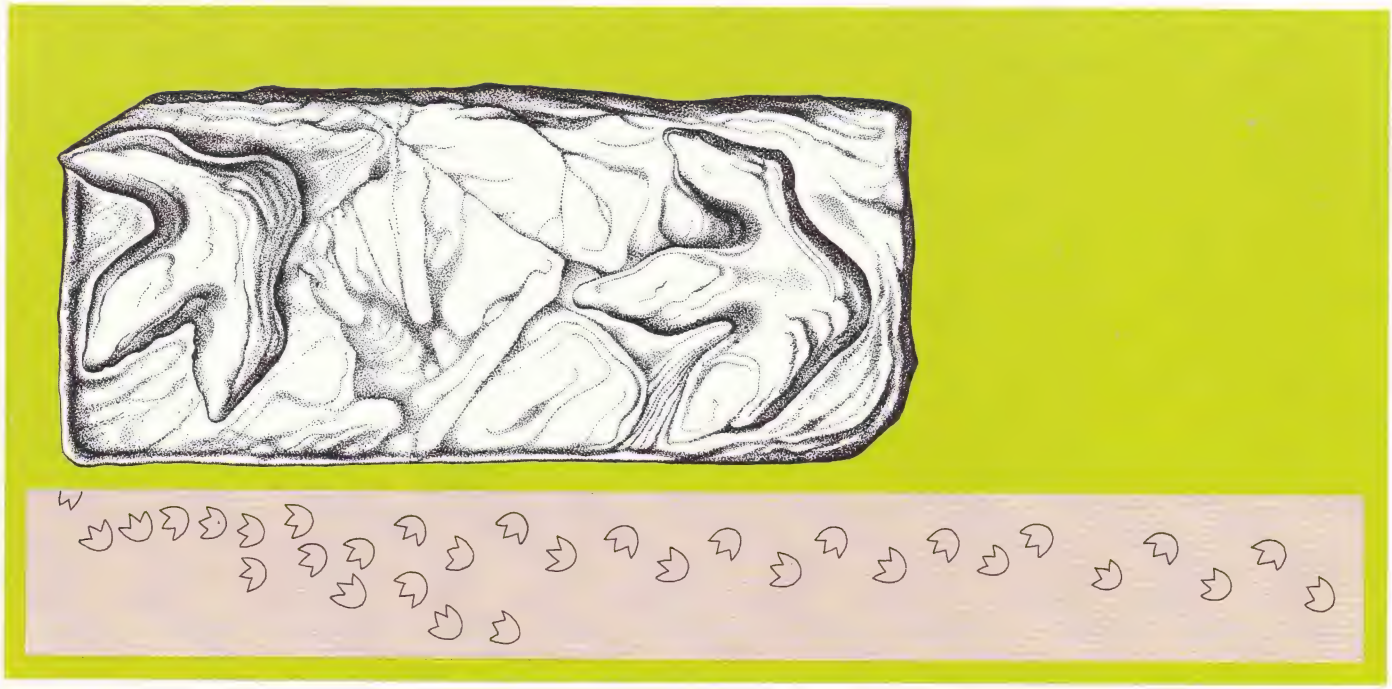
keinen Zweifel darüber, daß sie auch an das Leben auf dem festen Land bemerkenswert gut angepaßt waren und einen Großteil ihrer Zeit dort verbrachten, wenn sie nach Nahrung, vorzugsweise Nadelbäumen (besonders Araukarien), Ausschau hielten. Dies geht unzweideutig aus ihren Fußabdrücken hervor.

Ein prachtvoller Satz von Fußabdrücken aus Dorset (Südengland) wird im Britischen Museum in London aufbewahrt. Das Exemplar besteht aus einem länglichen Stück Felsgestein, das bloßgelegt und an Ort und Stelle in kleinere Teile aufgeteilt wurde. Diese Teile wurden danach im Museum wieder zusammengefügt. Auf dem fast weißen Untergrund sind die dreizehigen Fußabdrücke riesiger Reptilien, die Fußabdrücken legendärer Vögel ähneln, wegen der dunkelgrauen Färbung der Vertiefungen, die sie im Sand hinterlassen haben, deutlich erkennbar. Die Fußabdrücke stammen von zwei Iguanodonten, die eine Zeitlang nebeneinander hergelaufen waren.

Diese Iguanodonfährte wird im Museum zwischen dem erstaunlich langgestreckten Skelett des Diplodocus (Geschenkexemplar von Carnegie) und dem aufragenden Skelett des angriffslustigen Tyrannosaurus (über diesen später mehr) gezeigt. Die ganze Szene beschwört die Dinosaurierwelt geisterhaft herauf – ähnlich wie die Gruppe aus Allosaurus, Brontosaurus und Stegosaurus im Museum of Natural History in New York.

Nach den Fußabdrücken zu urteilen, bewegte sich das Iguanodon ähnlich wie der Allosaurus (obwohl die beiden einander sonst überhaupt nicht ähnlich waren), d. h., es setzte einen Fuß vor den anderen, genau wie wir Menschen das tun, und hielt dabei seinen Schwanz über den Boden erhoben. Der Schwanz half ihm, das schwere Gewicht seines Körpers auszubalancieren. Er senkte sich wahrscheinlich nur auf den Boden, wenn das Tier stehenblieb, um die Zweige der Bäume abzuweiden.

Iguanodonfußabdrücke, die in englischen Wealdenschichtungen gefunden wurden. Darüber zwei große Fußabdrücke aus Bückeburg in Deutschland.



Die Iguanodons hatten sich von Nordafrika bis zum Spitzbergener Archipel verbreitet. In der unteren Kreide Europas waren sie die am höchsten entwickelten Ornithischier, deren Bekanntschaft wir schon im Zusammenhang mit dem Jura machten. Damals im Jura stellten, wie wir uns erinnern, der Camptosaurus und der Stegosaurus die am höchsten entwickelten Vertreter der Ornithischier dar.

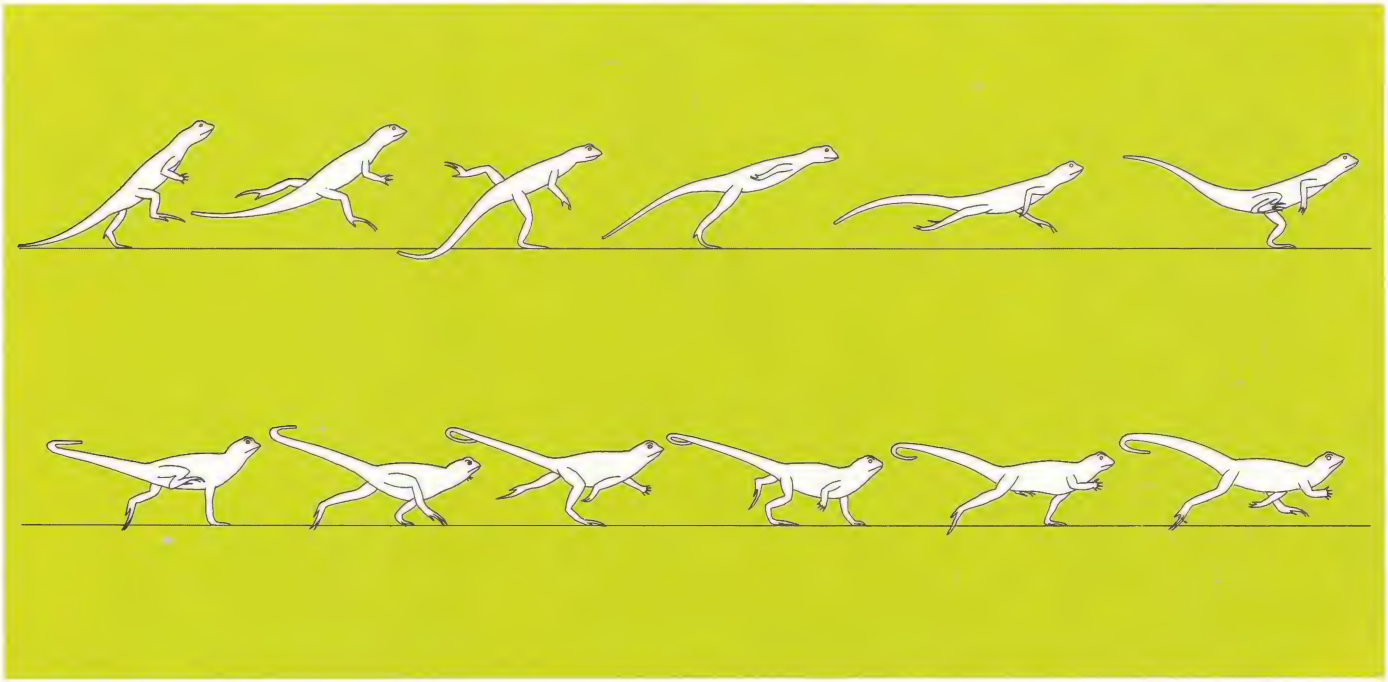
Unter den Ornithischiern sind die Iguanodons die typischsten Vertreter der Unterordnung *Ornithopoden.* Dieses aus dem Griechischen stammende Wort bedeutet wörtlich „Vogelfüßer" und bezieht sich auf die vogelähnlichen Fußspuren, die die Tiere hinterlassen haben. Da allerdings auch die Theropoden der Trias im Connecticut Valley, wie wir wissen, vogelähnliche Fährten hinterlassen haben, ist der Name Ornithopoden vielleicht nicht eindeutig genug. Wir sollten ihn trotzdem akzeptieren, weil er allgemein eingeführt ist. Im übrigen werden wir bald eine sehr interessante Gruppe der Ornithopoden kennenlernen. Im Augenblick genügt es zu wissen, daß von allen Ornithischiern nur die Ornithopoden zweibeinig gingen, alle anderen dagegen auf allen vieren.

Ein leichtgewichtiger Ornithopode, das 1,50 m lange *Hypsilophodon,* lebte neben dem Iguanodon im wealdischen Zeitalter. Es war ein schlanker Auf-zwei-Beinen-Geher mit kleinem Kopf und ziemlich langem Hals, der allgemeinen Erscheinung nach den Zölurosauriern in der Trias nicht unähnlich. Nach Meinung vieler Paläontologen lebte dieses Tier vorzugsweise auf Bäumen, die es mit seinen kräftig ausgebildeten Beinen auf der Suche nach Nahrung ohne weiteres erklimmen konnte. Auf dem Rücken und dem Schwanz des Hypsilophodon befand sich eine Doppelreihe kleiner Knochenplatten, die wohl eine Art Schutz darstellten.

In den wealdischen Sümpfen und Wäldern gab es auch vierbeinig sich fortbewegende Ornithischier, die entweder gepanzert oder auf sonst eine Art bewaffnet waren: *Den Hylaeosaurus* haben wir bereits im

Vom zweibeinigen und vom vierbeinigen Gang

In der ersten Reihe (A): Wie die zweibeinigen Reptilien ihren Körper mit Hilfe des Schwanzes als Gegengewicht ausbalancierten; darunter (B): die Bewegung der heutigen Echsen auf vier Beinen.



ersten Kapitel kennengelernt. Daneben gab es den *Polacanthus,* der eine Doppelreihe hochstehender Knochenplatten auf dem Rücken trug und auch im Beckenbereich schwer gepanzert war, ferner den *Cetiosaurus,* der starke Ähnlichkeit mit dem Brontosaurus hatte. Wie alle pflanzenfressenden Ornithischier, die wir kennengelernt haben, bewegte sich der Cetiosaurus so durchs Wasser, daß er dabei seinen langen Hals hoch darüber emporwölbte.

Die Dinosaurierschwemme in der unteren Kreide

Wie wir gesehen haben, wurden die Pflanzenfresser unter den damaligen Tieren von Ornithischiern und Saurischiern repräsentiert, die in Herden lebten und die ökologischen Nischen unter sich aufteilten. Natürlich wurden die friedlichen Pflanzenfresser nicht in Ruhe gelassen. Wohin sie auf ihren Wanderungen auch kamen, lockte ihre große Anzahl hungrige und beängstigend schnelle Raubtiere mit schrecklichem Gebiß an. Wenn der riesige Megalosaurus urplötzlich aus der Tiefe des Waldes auftauchte, war es nicht nur um kleinere Ornithischier geschehen. Auch die großen, sich langsam fortbewegenden Sauropoden waren keineswegs vor ihm sicher. Vermutlich konnte nur das Iguanodon im ausgewachsenen Zustand einen solchen Angriff abwehren.

In der reptilienreichen Welt des Wealdens lebten allerdings nicht nur Dinosaurier. Die Flüsse z. B. waren voller Krokodile, in den Küstenlagunen schwammen unzählige Riesenschildkröten herum, und die schwebenden und kreisenden Pterosaurier sorgten für eine ständige Bevölkerung des Luftraums. Diese mannigfaltige Tierwelt war typisch für die Landschaft in Nordwesteuropa vor rund 130 Millionen Jahren und ist mit all ihren erstaunlichen, oft bizarren Details aus südenglischen Ablagerungen (Kent, Surrey, Sussex, Insel Wight) für uns wieder auferstanden.

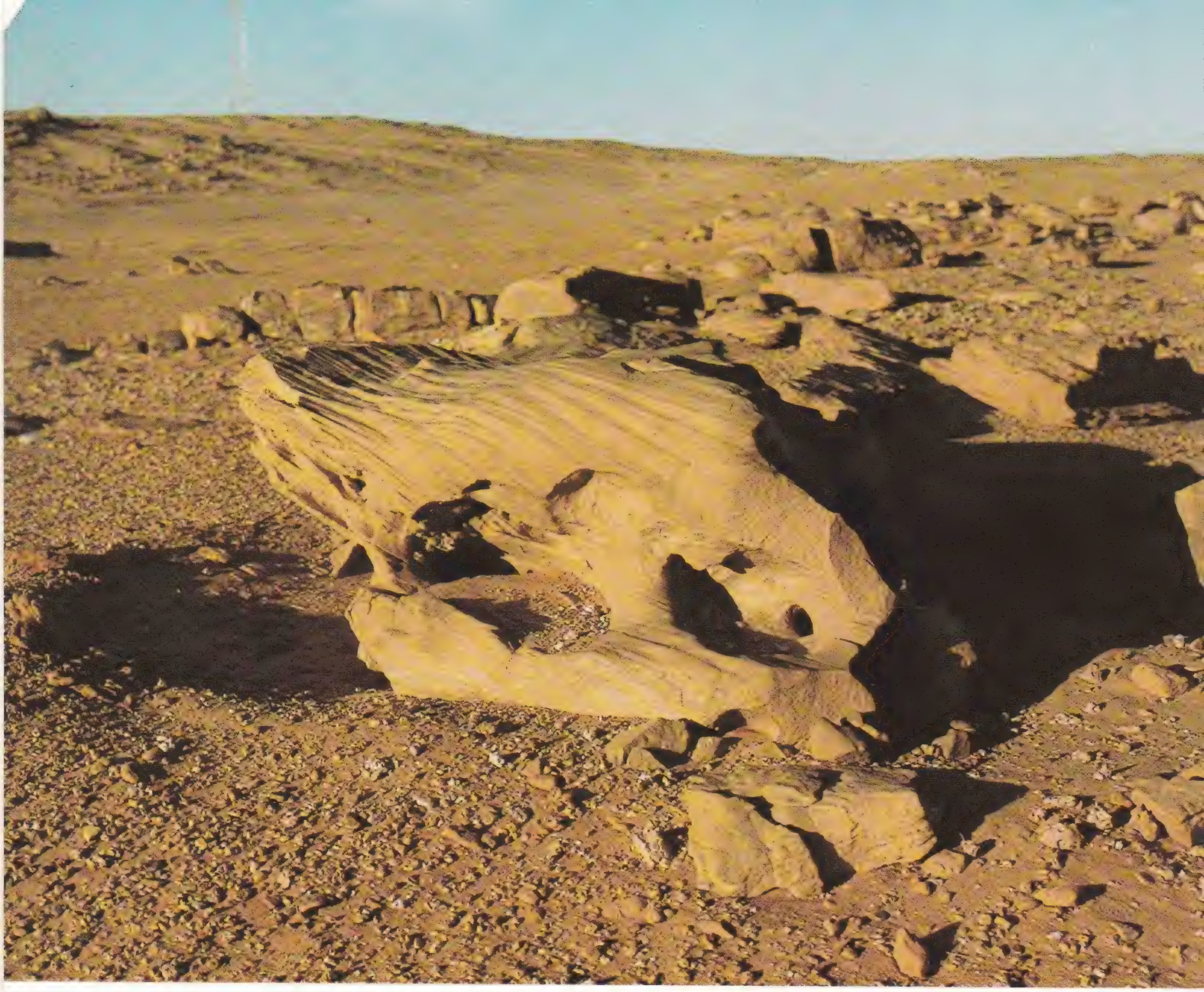
Verlassen wir jetzt Europa und wenden uns Amerika zu, wo wir eine Welt vorfinden, die noch in der unteren Kreide von Dinosauriern aus dem Jura beherrscht wird. Die Stegosaurier und Brontosaurier waren zwar verschwunden, aber an ihrer Stelle weidete der friedliche Camptosaurus noch immer zwischen den Zweigen, jagte der Ornitholestes in offenem Gelände und verbreitete der riesige und furchteinflößende Allosaurus Schrecken in den Wäldern.

Die großen Reptilien setzten sich in allen Teilen der Erde durch. Die Megalosaurier hatten sich schon bis nach Nordafrika ausgebreitet, zusammen mit anderen Karnosauriern und Zölurosauriern. Auch der kolossale *Branchiosaurus* lebte in Afrika, während mehrere andere Sauropoden – mit mehr oder weniger langem Hals und massigem Körper – bis zu den Flüssen Ostasiens und dem, was von Gondwanaland übriggeblieben war, vorgedrungen waren.

Das Hypsilophodon, ein kleiner Ornithopode (1,5 m) aus der englischen Kreide. Wissenschaftler vermuten, daß er auf Bäumen lebte. – Rechts im Bild zwei Exemplare des Polacanthus, eines gepanzerten Dinosauriers (4,5 m lang), der außerdem mit Stacheln bewehrt war, eine für die untere Kreide besonders in England typische Erscheinung.

Ein Dinosaurierfriedhof in der Sahara

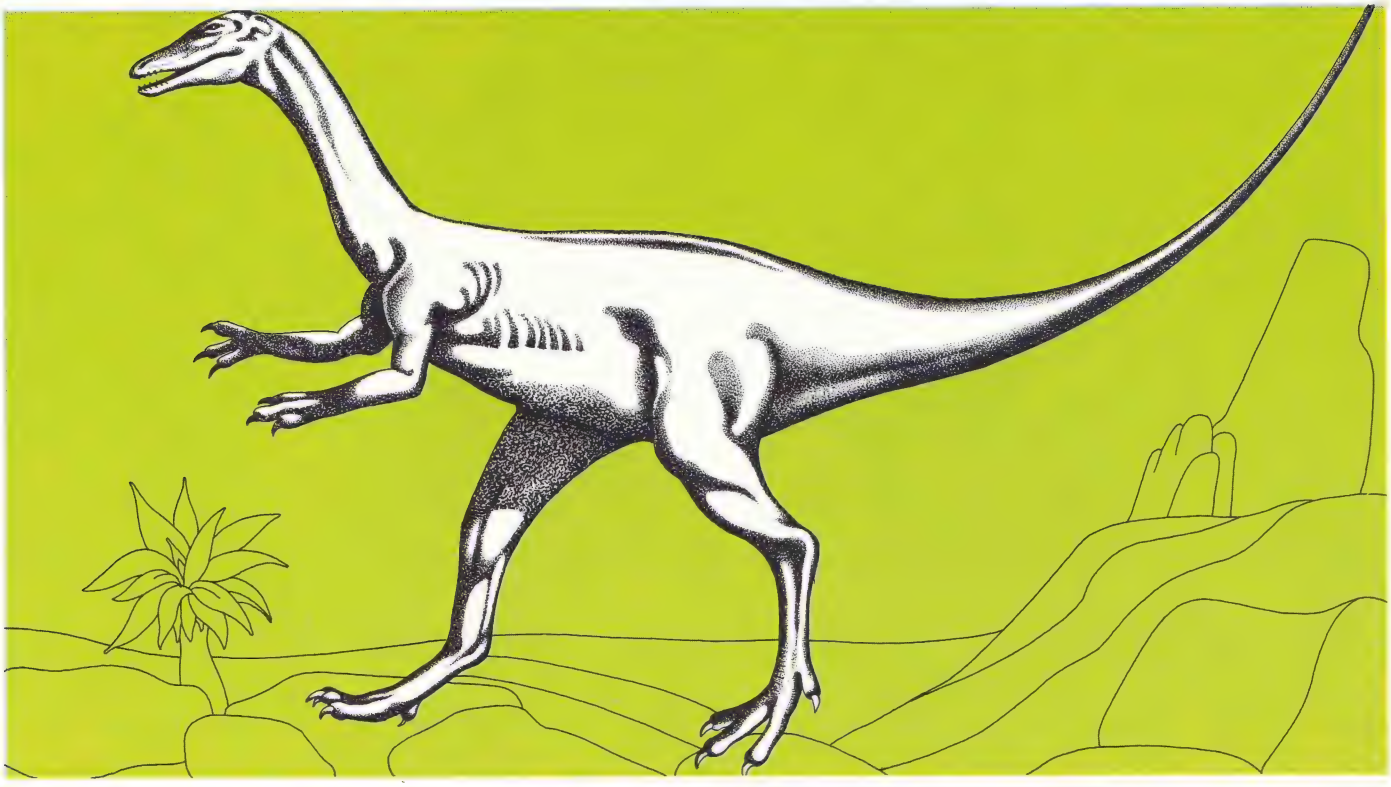
Während der ersten Hälfte der Kreide machten die „Schreckensechsen" über eine lange Zeitspanne hinweg nur langsam Fortschritte in ihrer Entwicklung. Nach und nach verwandelte sich die Erdoberfläche, und die Wealdenlandschaft verschwand. Wo früher die Iguanodonten ihre tiefen Fußspuren im Sumpfboden hinterlassen hatten, befand sich jetzt das Meer. Aber in anderen Gegenden gab es wieder Wälder und Sümpfe, die auch unzählige Generationen von Reptilien beherbergten. Eine eindrucksvolle Dokumentation dieser Epoche, die unmittelbar auf das Wealden folgte und noch Teil der unteren Kreide war, ist der Dinosaurierfriedhof in Gadoufaoua im Nigergebiet (Nordafrika).



Im „Dinosaurierfriedhof" von Ténéré (Niger) treten die Dinosaurierfossilien, vom Wüstenwind geglättet, wie große Steine aus dem Sand hervor.

Die Tuareg, die entlang den südlichen Grenzen der Sahara leben, nennen die Wüste dort „Ténéré", was „Nichts" bedeutet. In Gadoufaoua selbst, einer unwegsamen, sonnenverbrannten Einöde von rotgelbem Sand und windgepeitschten Felsen, liegt eine endlose Zahl von Dinosauriern begraben, zusammen mit einer großen Menge von Seeschildkröten, Krokodilen, Fischen und Weichtieren. Bis vor einigen Jahrzehnten hatte kein Mensch eine Ahnung, daß es diese paläontologische Schatztruhe gab. Schließlich brachte im Jahre 1954 die Sammlung des französischen Geologen Hugues Faure, der einige Fossilien im Nigergebiet entdeckt hatte, die Wissenschaftler auf die Spur. Einige Jahre später fand man den „Friedhof", der von französischen Wissenschaftlern ausgiebig untersucht wurde.

Am Anfang der 70er Jahre besuchten dann Touristen und wissenschaftlich Interessierte – zuerst Italiener, später Franzosen – den Ort. Diese Expeditionen sorgten dafür, daß die *Ténéré-Dinosaurier* in der



Rekonstruktion eines Elaphrosaurus, eines Zölurosauriers, der in den Ablagerungen von Ténéré gefunden wurde.

ganzen Welt bekannt wurden. Obwohl man dort bisher kaum nennenswert unter die Erdoberfläche gekommen ist, wurden bereits viele Einzelheiten über die 150 km lange und 2 km breite Ablagerungszone zusammengebracht.

Es gibt eine Tuareglegende, die von Schlangen aus Stein erzählt, welche bewegungslos in der Sonne liegen. Solche „Schlangen" existieren tatsächlich. Es handelt sich um Wirbelsäulen einer Gruppe von Iguanodons, die unter dem sie zuvor bedeckenden Sand in Ténéré zum Vorschein gekommen sind, schon stark erodiert vom Wind, der sie freigelegt hat.

In dieser Gegend liegen jetzt so viele Fossilien zutage, daß jeder Reisende ihnen überall in Gadoufaoua begegnen wird: Dinosaurierknochen, Teile von Krokodilen, Zähne aller Arten von Reptilien, Schildkröteneier und -schalen.

Diese sagenhafte Ablagerung bildete sich zuerst in einer Gegend, dem Wealden ähnlich, die als Folge häufiger Überflutungen vom Wasser durchtränkt war. Ganze Herden von Iguanodons hatten dieses Gebiet durchstreift. Die Tiere waren etwas kleiner als die Iguanodons des Wealdens und sind den Paläontologen als *Uranosaurier* bekannt. In den trockeneren Gebieten waren die leichten Zölurosaurier, u. a. die schlankbeinigen, kleinköpfigen *Elaphrosaurier,* zu Hause, die *Dikräosaurier* dagegen (schwere Sauropoden von mittlerer Größe) grasten an den Flußufern und schwammen in den Lagunen. Die letzteren waren ständig in Gefahr, von den gefürchteten Theropoden mit ihren schrecklichen Krallen und dolchartigen Fangzähnen angegriffen zu werden. Im Fluß lauerte der gewaltige *Sarcosuchus* auf sie, ein riesiges Krokodil, dem Gavial ähnlich.

Seltsame Fleischfresser und riesige Pflanzenfresser

Zu Beginn unseres Jahrhunderts fand man in den Bahrijjaoasen in Ägypten die fossilen Überreste eines fleischfressenden Dinosauriers von fürchterlichem, beunruhigendem Aussehen, der in der oberen Kreide gelebt hatte. Er hatte an seinen Rückenwirbeln aufrechtstehende nadel- oder dornartige Verlängerungen, die länger als 1,80 m waren, und übertraf den Megalosaurus, mit dem er verwandt war, an Größe und Körperkraft. Man gab diesem Theropoden den Namen *Spinosaurus*. Er muß – mit dem hohen Rückenkamm, den ungeheueren Kiefern und den schrecklichen Krallen – die furchteinflößende Erscheinung eines urzeitlichen Drachens besessen haben.

Tatsächlich hatten die langen Stacheln oder Dornen weder eine Angriffs- noch eine Verteidigungsfunktion. Derartige zusätzliche Waffen benötigte er nicht. Statt dessen war der ganze Rückenkamm von Haut bedeckt, die zwischen den einzelnen Stacheln wie eine Art Segel ausgespannt war. Sie hatte die Funktion eines Thermostaten, eines Kontrollorgans, das die Körpertemperatur des Tiers regelte.

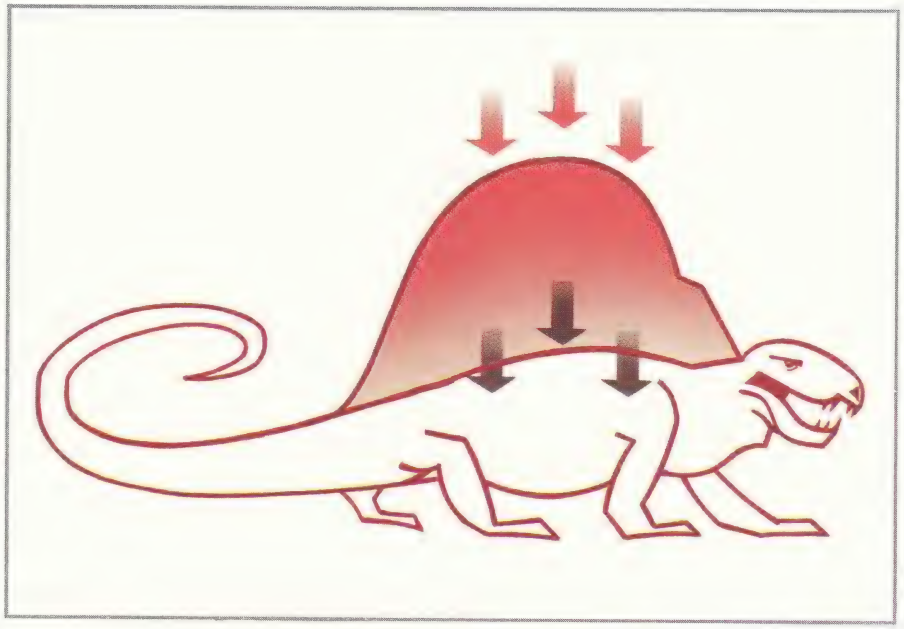
In dieser Hinsicht ist der Spinosaurus mit dem Dimetrodon und dem Edaphosaurus zu vergleichen (die bereits früher vorgestellt wurden). Schon beim Megalosaurus gab es die Tendenz, ein solches Kontrollorgan zu entwickeln: Man fand eine Gattung, bei der die Rückenkammstacheln 25 cm lang waren. Erst beim Spinosaurus jedoch erreichte diese Entwicklung ihren Höhepunkt und brachte damit die längst vergessenen Züge der riesigen Texasdrachen aus dem fernen Perm erneut ins Spiel.

Mit den Spinosauriern endete die Welt der „Schreckensechsen" der unteren Kreide. Es folgte die Welt der Dinosaurier der Oberkreide – gekennzeichnet durch schnelle, fortdauernde evolutionäre Veränderungen, als gäbe es einen geheimen, verzweifelten Drang, sich an die Bedingungen der „neuen Erde" anzupassen: den ausgeprägten Wechsel der Jahreszeiten, die Ausbreitung der Blütenpflanzen und die allgemein veränderten Lebensbedingungen in weiten Bereichen.

Obwohl aber Umbildung und Wechsel an der Tagesordnung waren, gab es da eine sonderbar nach rückwärts gewandte Entwicklungsten-

Rechte Seite: Der Dicraeosaurus, ein Sauropode, der zwischen dem oberen Jura und der oberen Kreide in Afrika häufig vorkam. Hier wird er mit einem räuberischen Spinosaurus aus der gleichen Periode konfrontiert.

Rechts: Der Rückenkamm des Spinosaurus, der aus einer Membran bestand, die zwischen den Verlängerungen der Rückenwirbel aufgespannt war. Dieser Kamm regulierte wahrscheinlich wie beim Dimetrodon im Perm die Körpertemperatur.

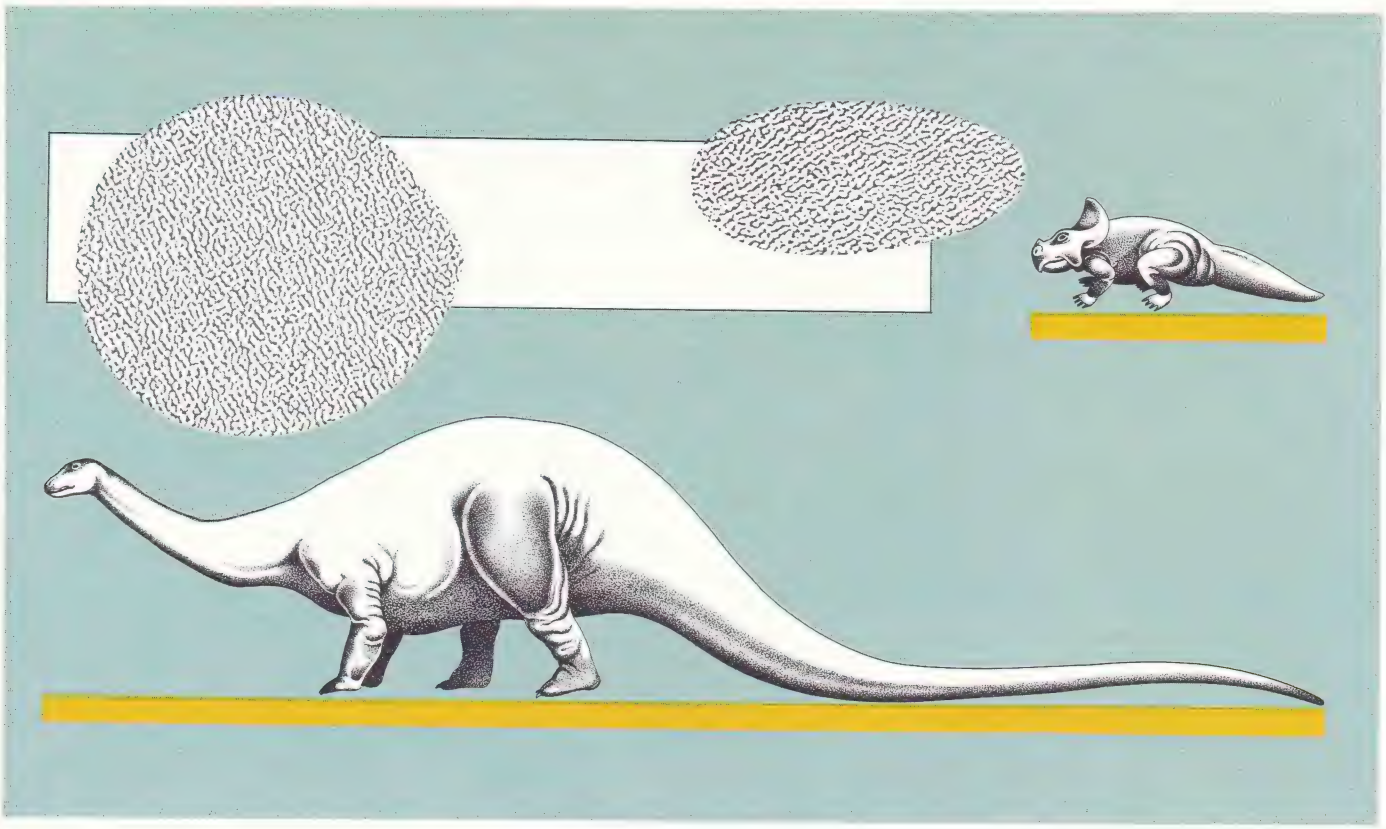


denz unter den großen Sauropoden, die zu Lebensformen führte, die denen des oberen Juras entsprachen. Diese rückläufige Entwicklung folgte auf einen vorübergehenden Verfall der Formen. Sie bevölkerte insbesondere die südlichen Teile der Erde mit langhalsigen Pflanzenfressern.

Der auffälligste unter den Sauropoden aus der oberen Kreide war der *Anctartosaurus,* den man in Kasachstan (Zentralasien), Indien und Patagonien fand. Unglücklicherweise wurden in keinem Fall vollständige Skelette gefunden. Wir wissen aber, daß er wegen seines langen Halses und Schwanzes eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Diplodocus besaß. Er muß etwa 30 m lang gewesen sein, kann jedoch – da er sehr schlank war – insgesamt nicht mehr gewogen haben als das schwergewichtigste Lebewesen, das je auf dieser Erde wandelte (bzw. dahinstampfte), der Brachiosaurus. Tatsächlich muß der Anctartosaurus bedeutend weniger Pfunde gehabt haben, obwohl er bezüglich Körperlänge alle Rekorde schlug. Kein anderer Dinosaurier oder Archosaurier erreichte jemals diese Länge – die allerdings vom heutigen Blauwal übertroffen wird.

Dinosauriereier in den Wüsten der Mongolei

Eine Untersuchung der Sauropodeneier aus der oberen Kreidezeit, die in einigen Teilen Frankreichs in beträchtlichen Mengen gefunden wurden, erwies sich als sehr interessant, wie wir bereits im Zusammenhang mit dem Brontosaurus erwähnt haben. Es wurden aber nicht nur Sauropodeneier, sondern auch die fossilen Gelege vieler verschiedener Arten der Dinosaurier aufgefunden. Viele dieser Eier, ziemlich kleine, stammten



Hier werden die Eier des Protoceratops (rechts) und des Hypselosaurus (links) in Form und Größe verglichen.

von Ornithischiern und wurden vor rund 100 Jahren in Innerasien entdeckt. Sie bedeuteten damals eine Sensation, weil zu der Zeit so gut wie gar nichts über die Fortpflanzung dieser Tiere bekannt war.

In Ablagerungen aus der oberen Kreide in der Mongolei, d. h. in den Dürregebieten der Wüste Gobi, gibt es fossile Überreste von Dinosauriern im Überfluß. Sie wurden im Jahre 1922 von einer wissenschaftlichen Expedition unter der Leitung von Roy Chapman Andrews und fünf weiteren amerikanischen Expeditionen aus der Zeit von 1922 bis 1930 gefunden. Später folgten russische, polnische und mongolische Forschungsreisen. Jedesmal wurden große Mengen von Versteinerungen gesammelt, die es uns schließlich ermöglichten, die Landschaft Zentralasiens in der oberen Kreidezeit wissenschaftlich zu rekonstruieren. Eine der frühen amerikanischen Expeditionen erlangte dadurch eine gewisse Berühmtheit, daß sie ganze Gelege von Ornithischiereiern entdeckte.

Kahle, zutage liegende Felsschichten in der Wüste Gobi haben unter der dauernden Erosionswirkung des Windes ihre fossilen Schätze bereitwillig hergegeben. Die ersten Eier, die man fand, waren von einer abbröckelnden Sandsteinkante gerutscht und wurden auf dem Boden liegend gefunden, als hätte sie das vorzeitliche Lebewesen unmittelbar zuvor dort abgelegt, und das, obwohl sie seit der Kreide zu Stein geworden waren und jetzt natürlich so schwer waren wie die Felsen, von denen sie nicht länger festgehalten wurden.

Später fand man dann an den unwahrscheinlichsten Stellen ganze „Nester". Eines Tages z. B. kletterte ein Mitglied des Expeditionsteams zur Spitze eines Felsens empor, um dort ein Adlernest zu suchen. Er stieß mit der Hand gegen etwas, das spitz aus dem Gestein herausragte. Es

Zwei Skelette des Protoceratops und eines ihrer Nester, aufgestellt im Museum of Natural History in New York.

Dinosaurier mit Papageienschnabel

war ein Teil der Schale eines Dinosauriereies, neben dem sich eine Art Nest mit insgesamt 14 kreisförmig angeordneten Eiern befand.

Die Eier, die man in der Wüste Gobi fand, waren in der oberen Kreide von dem zu den Ornithischiern zählenden *Protoceratops* (von dem man viele Skelette zusammen mit den Nestern fand) abgelegt worden. Der Protoceratops war ein ziemlich massiger Vierbeiner von 1,80 m Länge mit einem im Verhältnis zum Körper riesenhaft großen Kopf. Seine Kiefer bildeten einen kräftigen, wie beim Papagei gekrümmten Schnabel und hatten keine Vorderzähne. Sein Schädel ging hinten in eine Art knochigen, durchlöcherten „Kragen" über, der seinen Hals schützte. Der Protoceratops lebte in dürren Halbwüsten. Seine Eier und Gebeine sind darum so gut erhalten, weil er mit seinen Nestern, wenn heftige Sandstürme tobten, sehr schnell und vollständig unter dem emporgewirbelten Staub begraben wurde.

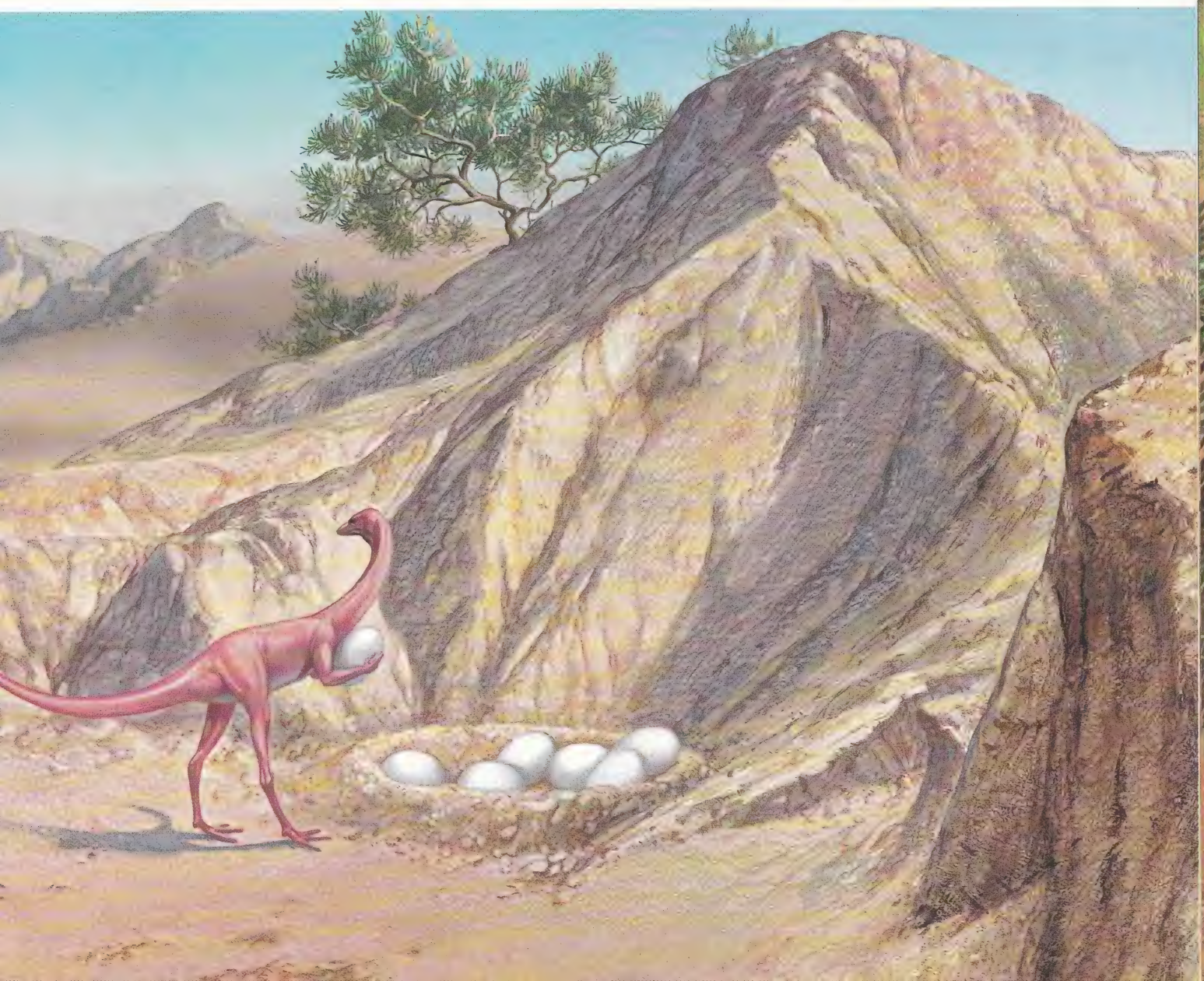
Seit dem Beginn der oberen Kreide hat sich in der Gegend, in der der Protoceratops dereinst lebte, kaum etwas verändert. Noch heute gibt es

dort dürre Wüstengebiete, farbige Felsen und die Erosion dieser Felsen durch den Wind. Kleine, zweibeinig laufende Dinosaurier, so lebhaft gefärbt wie das Gestein, jagten damals leichtfüßig über die Wüstenflächen dahin.

Unter den so zahlreich gefundenen Fossilienresten dieser Tiere wurden auch die fossilen Überbleibsel eines Zölurosaurus über den Eiern eines Protoceratops gefunden, woraus wir schließen können, daß der Zölurosaurus sich von den Eiern ernährte: Der Zölurosaurus heißt daher auch *Oviraptor,* was auf lateinisch „Eierdieb" bedeutet.

In den Schichten der Wüste Gobi wurden auch die Überreste eines anderen wichtigen Dinosauriervertreters gefunden: des *Psittacosaurus.* Es handelt sich bei diesem um einen Ornithischier von der Ornithopodengruppe, 1,50 m lang, mit einem kurzen Hals und einem Kopf, dessen großer, gekrümmter Schnabel ebenfalls dem eines Papageien glich (tatsächlich bedeutet Psittacosaurus wörtlich „Papageienechse"). Das Interessante an diesem Tier ist, daß es, nach seiner Struktur, den Einzelheiten des Skeletts und dem Schnabel zu urteilen, irgendwie mit dem Protoceratops zusammenzuhängen scheint. Paläontologen mei-

Der Protoceratops in der Wüste Gobi in der Mongolei. Ein Erzfeind dieser Dinosaurier war vermutlich der Oviraptor, ein Zölurosaurier, der sich von Protoceratopseiern ernährt haben soll. Der Protoceratops war bei seiner Geburt 25 bis 30 cm lang und erreichte im ausgewachsenen Zustand eine Länge von 1,8 m.



Das Leben in der Wüste Gobi heute: Hier fängt ein mongolischer Nomade einen Wildesel. In dieser Gegend fand ein Expeditionsteam des New Yorker Museum of Natural History ein Nest mit Protoceratopseiern. Die Wissenschaftler neigen heute zu der Annahme, die Protoceratopsweibchen hätten ihre Eier alle im selben Nest abgelegt. Dies würde auf ein erstaunlich hohes Maß an Gemeinschaftsgefühl bei diesen Reptilien hindeuten.

nen darum, er sei der Vorfahr des Protoceratops gewesen. Mit zunehmendem Körpergewicht müssen die Psittakosaurier zur vierbeinigen Fortbewegung übergegangen sein und auf diese Weise nachfolgenden Formen, die riesenhaft waren und gepanzerte Schädel besaßen, den Weg bereitet haben: den *Horndinosauriern* oder *Ceratopsia* (über die wir in Kürze mehr erfahren werden).

In einer Periode, die auf die Zeit des Protoceratops folgte, lebten in der Mongolei andere, größere, Ehrfucht gebietende Dinosaurier. Bevor wir uns aber mit diesen beschäftigen, wollen wir noch einmal nach Nordamerika zurückkehren. Es gibt dort einige ganz außergewöhnlich reichhaltige Ablagerungen aus der späten Kreide. In diesen Ablagerungen werden wir mit den letzten erregenden Ereignissen aus der langen Geschichte der Dinosaurier konfrontiert.

Der blutrünstige Tyrannosaurus und die Entenschnabeldinosaurier

Die Wiedergeburt des Tyrannosaurus

Als 1902 das gewaltige Allosaurusskelett aus der Gegend um den Medicine Bow River im New Yorker Museum of Natural History aufgebaut wurde, glaubten die Wissenschaftler, den mächtigsten Vertreter der fleischfressenden Dinosaurier vor sich zu haben. Aber im selben Jahr mußten sie feststellen, daß die Fleischfresser der späteren Kreide noch gewaltiger gewesen waren. In Schichten aus der oberen Kreide in Montana entdeckte der Paläontologe Barnum Brown einige Knochen, die sich später als die Überreste eines Fleischfressers herausstellten, der noch größer als alle bis dahin bekannten Fleischfresser gewesen war. Man nannte ihn *Tyrannosaurus*.

Einige Jahre später gelangte das New Yorker Museum in den Besitz eines vollständigen Skeletts dieses erstaunlichen Reptils. Auch dieses wurde in einem wilden, von Menschen noch unbewohnten Teil Montanas von Barnum Brown entdeckt. Es lag noch in derselben Stellung, in der das Tier verendet war, die Knochen von einer Sandsteinhülle umschlossen, die so steinhart geworden war, daß sie mit den üblichen Mitteln kaum aufzubrechen war. Gelegentlich mußte man sogar zu Dynamit greifen.

Bevor man das Skelett freilegen konnte, mußte eine 9 m lange, 6 m breite und 7,50 m tiefe Grube auf der Seite des Hügels gegraben werden, in der sich die fossilen Reste des Raubtiers befanden. Zwei ganze Sommer hindurch arbeitete Barnum Browns Team mit der allergrößten Sorgfalt, bis der ganze Tyrannosaurus samt Sandsteinsarg endlich aus dem Felsen herausgeholt werden konnte. Auch der Transport der Knochenteile bis zum nächsten Eisenbahndepot war problematisch, da ein einziger Sandsteinblock so schwer war, daß vier Pferde benötigt wurden, um ihn dorthin zu ziehen.

1908 fand Brown in derselben Gegend ein weiteres Tyrannosaurusskelett. In jüngerer Zeit wurden sowjetische Wissenschaftler auch in Zentralasien fündig. Durch diese Entdeckungen kann man die Skelette des Raubreptils überall bewundern, im New Yorker Museum of Natural History, im Carnegie-Museum in Pittsburgh, im Britischen Museum in London und an der wissenschaftlichen Akademie in Moskau.

Ein erbarmungsloser Räuber

Soweit wir bis jetzt wissen, war der Tyrannosaurus der größte Fleischfresser, der jemals gelebt hat. Seine fossilen Überreste vermitteln uns nur einen schwachen Eindruck davon, wie dieses Tier in Wirklichkeit geartet war, obwohl schon das Skelett eine Atmosphäre erbarmungsloser Kraft und Wildheit verbreitet. Wenn man sich das Knochengerüst als von Muskeln und Haut bedeckt vorstellt, eine turmhohe Masse, zweimal so groß wie ein Elefant, dann kann man sich leicht ausmalen, wie dieses Wesen auf seinen riesigen Hinterbeinen brüllend und raubgierig durch die Wälder raste, um die aufgescheuchten Ornithopoden zu jagen; gewiß eine grauenerregende Vision, die da vor unserem geistigen Auge entsteht, viel schrecklicher als jeder Drache aus dem Märchen! Vor vielen Millionen Jahren aber war diese Vision Realität.

Der Tyrannosaurus erreichte eine Länge von 15 m und eine Höhe von etwa 6 m. Ganz eindeutig auf den Hinterbeinen gehend, ähnelte er dem Allosaurus, war aber viel schlanker, und seine Vordergliedmaßen fielen bedeutend kürzer aus. Sein Kopf war mit einer Länge von 1,20 m relativ kurz, jedoch massiger als der des Allosaurus und trotz der vielen Schädelöffnungen bedeutend robuster gegenüber Einwirkungen von außen. Zu seiner Ausrüstung gehörten riesige, gekrümmte, dolchartige Zähne mit scharfen, zackigen Rändern, die ungleichmäßig lang waren. Mit diesen Zähnen konnte er sich in sein Opfer verbeißen, was die Wirksamkeit seines schrecklichen Gebisses noch erhöhte.

Unter dem gigantischen Kopf baumelten zwei kleine „Ärmchen". Beim Allosaurus stellten die Vordergliedmaßen echte Arme dar, die imstande waren, die Beute zu ergreifen und festzuhalten, da sie, wie wir wissen, auch in dreifingrigen Händen endeten. Beim Tyrannosaurus aber waren die Vordergliedmaßen kurz und schwächlich und endeten in zwei nicht besonders gut entwickelten Fingern. Obwohl mit Krallen ausgerüstet, können sie nicht mit den Allosaurierfingern verglichen werden. Sie waren nicht fähig, die Beute am Ende der Jagd zu packen. Vielleicht benutzte sie der Tyrannosaurus, um Fleischstücke abzureißen, nachdem er sein Opfer schon getötet hatte. Es ist aber wahrscheinlicher, daß dieses Tier die Fähigkeit zu greifen und festzuhalten verloren hatte.

Wie beim Allosaurus standen die Hinterbeine des Tyrannosaurus fest auf der Erde. Die gespreizten Füße bestanden aus drei großen Zehen, die mit langen Krallen bestückt waren. Versteinerte Fußspuren zeigen, daß einer seiner Riesenschritte ungefähr 4 m maß. Zweifellos bewegte sich das gigantische Reptil sehr schnell: mit nach vorn gestrecktem Kopf, die schrecklichen Kiefer nahe am Erdboden; den Schwanz ausgestreckt und hoch aufgerichtet, um das kolossale Körpergewicht auszubalancieren. Nur wenn er sich ausruhte oder auf irgend etwas lauerte, senkte der Tyrannosaurus seinen Schwanz und erhob seinen Kopf bis zu 6 m über den Erdboden, wo er die Palmfarne und Farne hoch überragte.

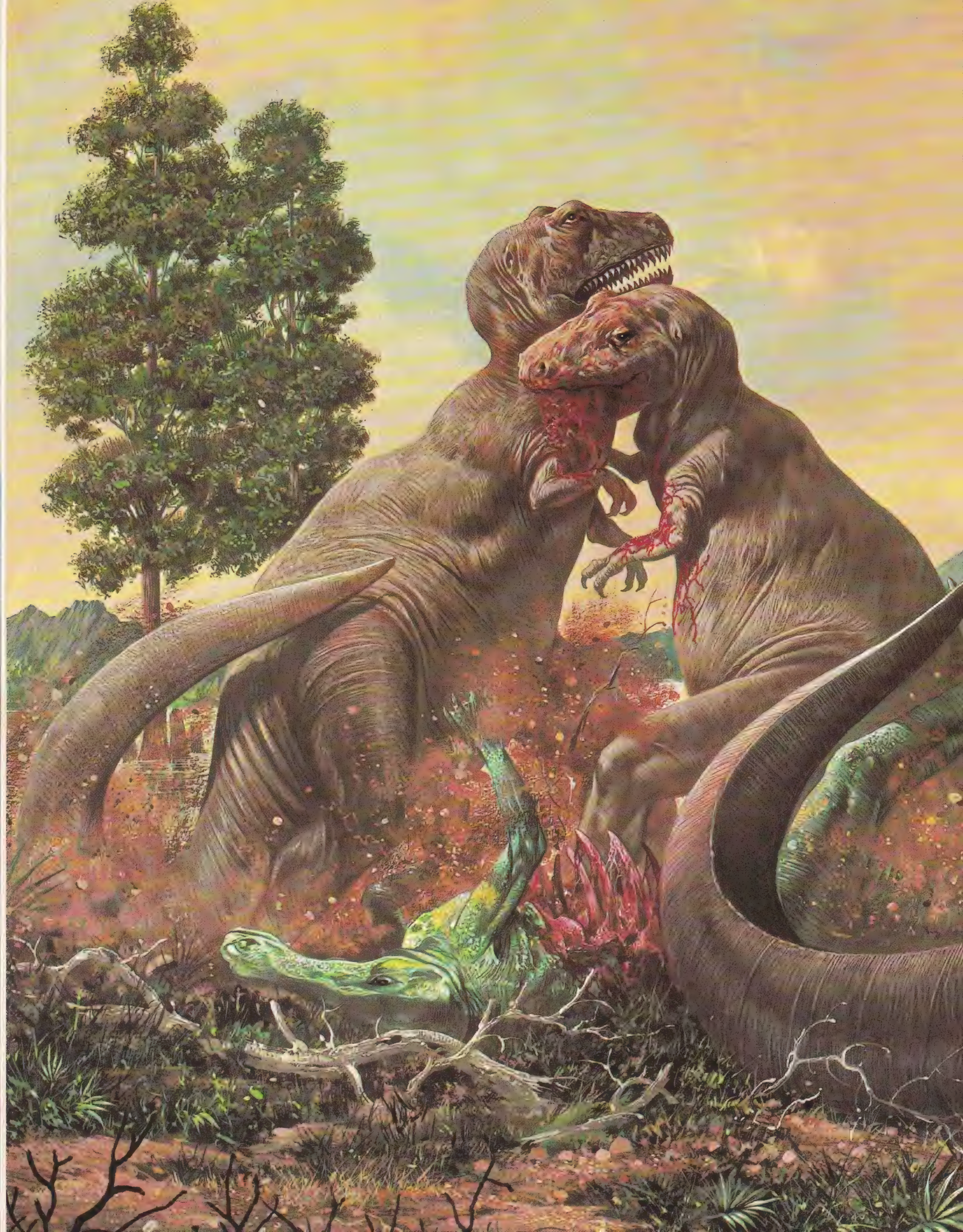
Rechte Seite: Das Skelett eines Tyrannosaurus. Dieses größte Landraubtier aller Zeiten war 15 m lang und hielt seinen schrecklichen Kopf 6 m über der Erde.

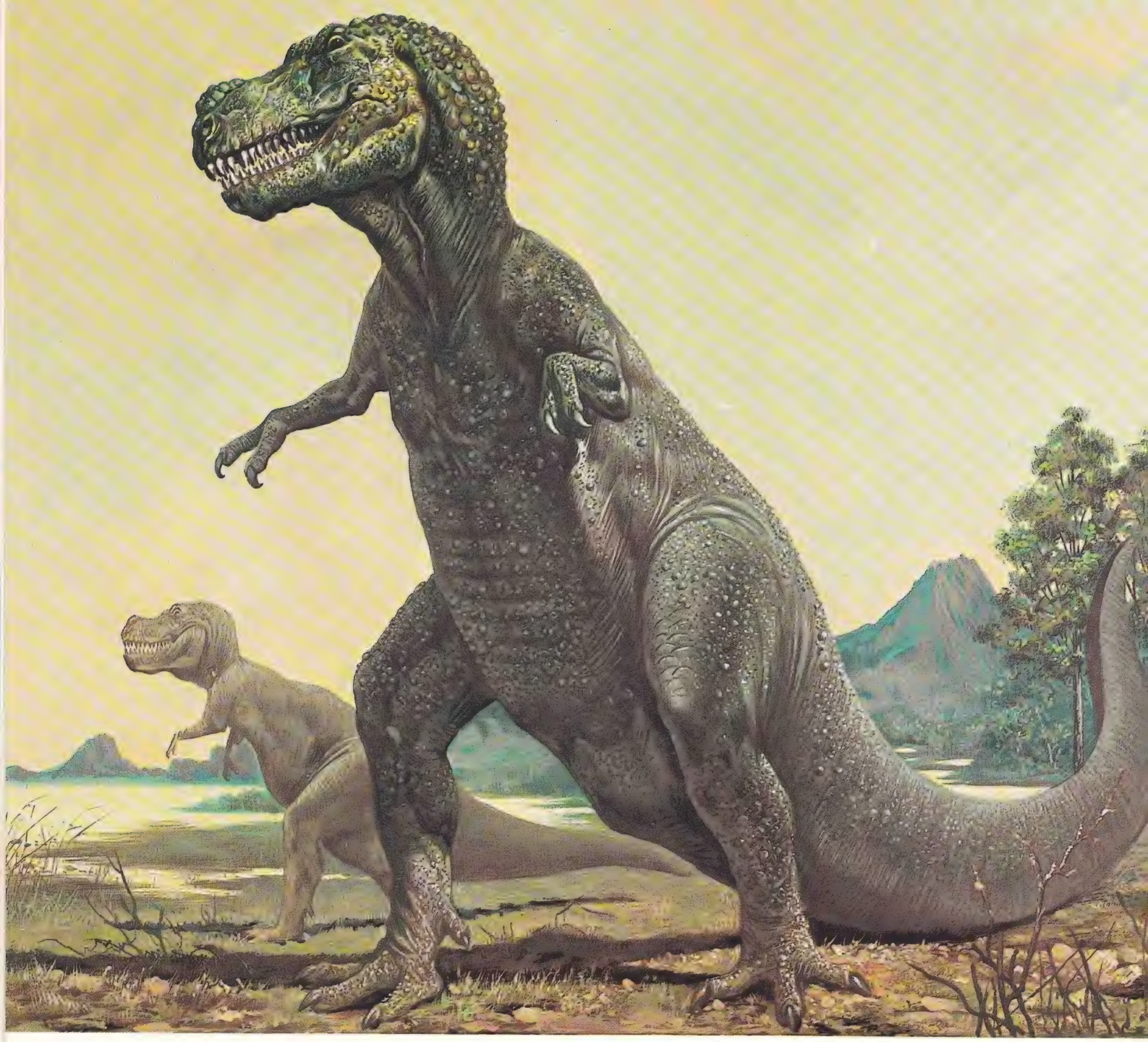
Abbildung auf den beiden folgenden Seiten: Tyrannosaurier in den Wäldern der nordamerikanischen Kreide, die sich um die Leiche eines Anatosaurus streiten. Es ist nicht leicht, sich einen solch heftigen Kampf zwischen zwei sehr schweren und gleichzeitig besonders beweglichen Riesen vorzustellen. Die dolchartigen Zähne, die mächtigen Hinterbeine, mit Krallen versehen, und der lange Schwanz (über 7,5 m lang) waren gefährliche Waffen.

Andere schreckliche Karnosaurier am Ende der Kreide

Der gigantische Tyrannosaurus war nicht das einzige Wesen der späten Kreide, das die Bewohner von Wald und Savanne in Angst und Schrecken versetzte. Es gab u. a. auch den *Tarbosaurus,* der dem Tyrannosaurus in Erscheinung, Körperstruktur und Anpassung an die Umwelt stark ähnelte, obwohl er mit einer Körperlänge von 12 m nicht ganz so groß wie dieser war. Auch die fossilen Überreste des Tarbosaurus stammen aus dem wundervollen Dinosaurierfriedhof in der Mongolei. Fünf Skelette befinden sich in der wissenschaftlichen Akademie in Moskau.

DINOSAURS WITH H RNS

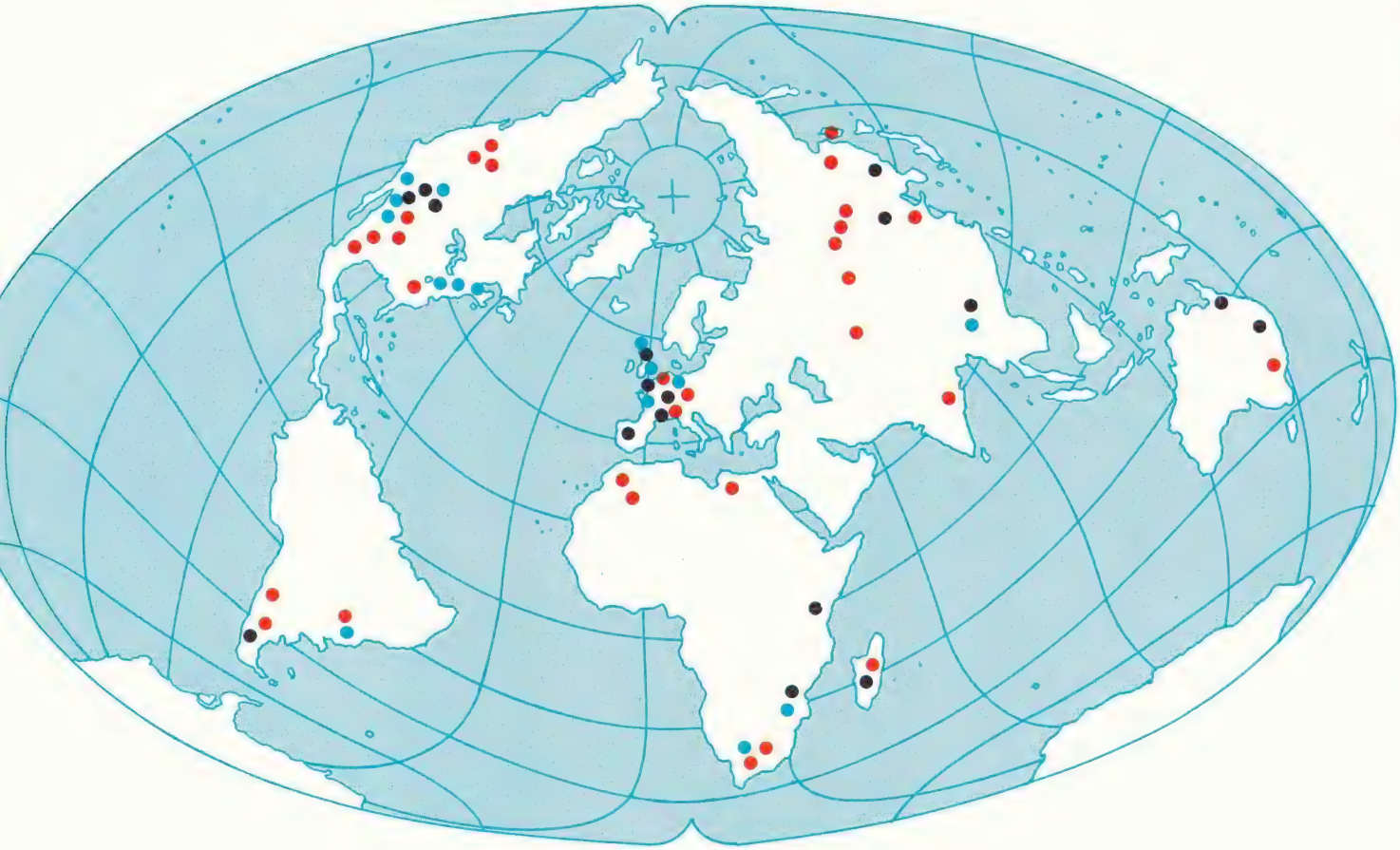




Der Tarbosaurus, ein weiteres großes Raubtier aus der Kreidezeit, das in Asien beheimatet war. Vor kurzem wurden viele ausgesprochen interessante Fossilien dieses Dinosauriers in der Mongolei gefunden.

Ein weiteres ähnliches Raubtier von etwas leichterem Körperbau und von nur 9 m Länge war der *Gorgosaurus,* der zu einer früheren Zeit als der Tyrannosaurus in Kanada und Zentralostasien lebte. In kanadischen Schichten wurde der 9 m lange *Albertosaurus* gefunden.

Wir könnten nun natürlich die Liste dieser riesigen Raubtiere beliebig verlängern. Allerdings genügen doch wohl die aufgeführten Beispiele, um zu zeigen, wie reich und verschiedenartig die Welt der fleischfressenden Dinosaurier bis unmittelbar vor ihrem Aussterben war. Es ist ein sonderbarer Zufall, daß zu eben dieser Zeit ihres Untergangs erheblich kleinere (doch nichtsdestoweniger ähnlich schreckliche)



Gegenden, die reich an Dinosaurierfossilien sind. Die verschiedenen Farben kennzeichnen die Perioden, aus denen die Fossilien stammen; schwarz = Trias, blau = Jura, rot = Kreide.

Lebewesen als die, die dem Tyrannosaurus „nahestanden", eine Periode blühender Entwicklung durchmachten.

Ein typisches Beispiel für diese kleineren Raubtiere war der *Deinonychus,* der 1964 in Montana entdeckt wurde. Obwohl er nur 2,40 m lang war, ähnelte er dem Allosaurus und hatte ein besonders Merkmal, das unter Dinosauriern einmalig war: Zwei seiner Zehen waren mit gewöhnlichen Krallen versehen, während die mittlere Zehe in einer außerordentlich langen, dünnen und gekrümmten Kralle endete. Von dieser machte er wahrscheinlich Gebrauch, wenn er andere Tiere überfiel. Dabei muß er gleichzeitig, auf dem anderen Fuß umherhüpfend, mit Hilfe seines Schwanzes, den er steif und aufrecht hielt, die Balance gehalten haben, wie gewisse anatomische Details der Fossilien zeigen. Wegen der scharfen Kralle gab man diesem Tier den Namen Deinonychus, was etwa „schreckliche Kralle" bedeutet.

Alle diese Karnosaurier lebten in Gegenden, die sowohl reich an Pflanzen als auch an Ornithischiern waren (die Ornithischier fraßen die Pflanzen und die Karnosaurier fraßen die Ornithischier). In etwas trockeneren Gebieten wanderten immer noch Herden von Zölurosauriern umher, die seit der fernen Trias fast unverändert geblieben waren. Der typischste war der 3 m lange *Ornithomimus* (oder *Struthiomimus*), der eine frappante Ähnlichkeit mit dem heutigen Strauß hatte: Auf einem außergewöhnlich langen Hals saß ein kleiner Kopf mit zahnlosem, hornigem Schnabel. Die Vordergliedmaßen endeten in drei Greiffingern. Wonach das Tier allerdings zu „greifen" pflegte, wissen wir bis heute

nicht, da wir seine Speisekarte nicht kennen. Viele Wissenschaftler sind der Meinung, daß es die Eier anderer Dinosaurier raubte, so wie in der mongolischen Wüste sein Verwandter, der Oviraptor. Andere dagegen glauben, daß er eine gemischte Kost vorzog, bestehend aus Obst, Blättern, Mollusken und verschiedenen kleinen Tierarten, wie sie auch der heutige Vogel Strauß schätzt. Aber wie die Kost auch ausgesehen haben mag, bekannt ist jedenfalls, daß der Ornithomimus gedieh, da er sich in ganz Nordamerika und Ostasien ausbreitete.

Schwimmfüße und Entenschnabel

Im Jahre 1908, während er Schichtungen aus der oberen Kreide in Wyoming untersuchte, machte der Paläontologe Charles Sternberg eine aufregende Entdeckung: Er fand die Mumie eines Dinosauriers. Natürlich war es keine Mumie im eigentlichen Sinne des Wortes, da Haut, Sehnen und Muskeln in harten Stein verwandelt waren. Die äußere Erscheinung des Tiers war jedoch erhalten geblieben. In der fernen Kreide hatte die Sonne das Tier nach dessen Tod auf einem Sandhügel wahrscheinlich total ausgetrocknet. Nachdem es schon ein harter, faltiger Kadaver geworden war, ähnlich den Überresten von Ochsen und Kamelen, die man oft in der afrikanischen Wüste findet, wurde es vom Wüstensand bedeckt, der auch die Höhlungen in denen sich vorher die Organe befunden hatten, ausfüllte und somit als hartgewordenen Sandstein abbildete.

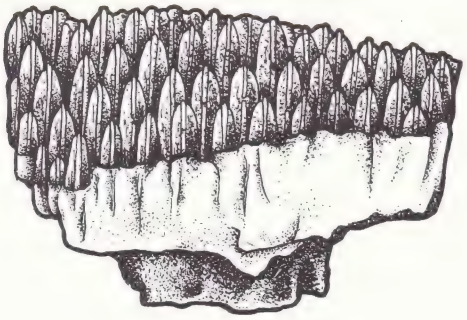
Später fand Sternberg in denselben Schichten eine ähnliche Mumie. Heute befindet sich eine dieser Mumien im New Yorker Museum of Natural History, die andere im Senckenberg-Museum in Frankfurt am Main. Beide Mumien sind Fossilien von derselben Dinosaurierart, dem Ornithopoden *Anatosaurus,* einem entfernten Verwandten des Iguanodons, der während der späten Kreide sowohl in Nordamerika als auch in Europa und Asien weit verbreitet war.

Der Hang zum Wasser, der sich schon beim Iguanodon bemerkbar gemacht hatte, war beim Anatosaurus noch weit stärker ausgeprägt. Die Mumien zeigen dies ganz deutlich: mit ihren entenartigen Vorderbeinen, die Schwimmfüße ausgebildet hatten. Dabei dürften bei diesen urtümlichen Lebewesen die Schwimmfüße noch leistungsfähiger gewesen sein, da die Zehen vollständig von einer Hautfalte bedeckt waren. Aller Wahrscheinlichkeit nach hatten auch die Hinterbeine zum Schwimmen geeignete Füße.

Noch klar erkennbar war die Hautstruktur der Tiere: Die Haut war schuppenlos und ohne Panzer, statt dessen war sie mit kleinen Warzen bedeckt, besonders auf dem Rücken und an den Körperteilen, die der Sonne ausgesetzt waren. Einige unserer heutigen Echsen, die ähnlich gebaut sind, haben eine leuchtende Farbe; vielleicht hat das auch für den Anatosaurus gegolten. An Hand der Mumien kann man nur erkennen, daß der Bauch des Tiers heller war als der Rücken.

Die Anatosaurier waren schlank gebaute Dinosaurier mit einer Durchschnittslänge von 9 m. Sie konnten auf ihren starken Hinterbeinen aufrecht gehen und verfügten über einen seitlich zusammengedrückten Schwanz, der beim Schwimmen als Antrieb diente. Der allgemeinen Erscheinung nach ähnelte der Anatosaurus mit Ausnahme des Kopfs, bei dem sich die übliche Reptilienschnauze in einen Entenschnabel verwandelt hatte, dem Iguanodon. Dieser „Schnabel" verlieh dem Tier ein groteskes Aussehen und trug ihm zugleich seinen Namen ein, der wörtlich „Entenechse" bedeutet.

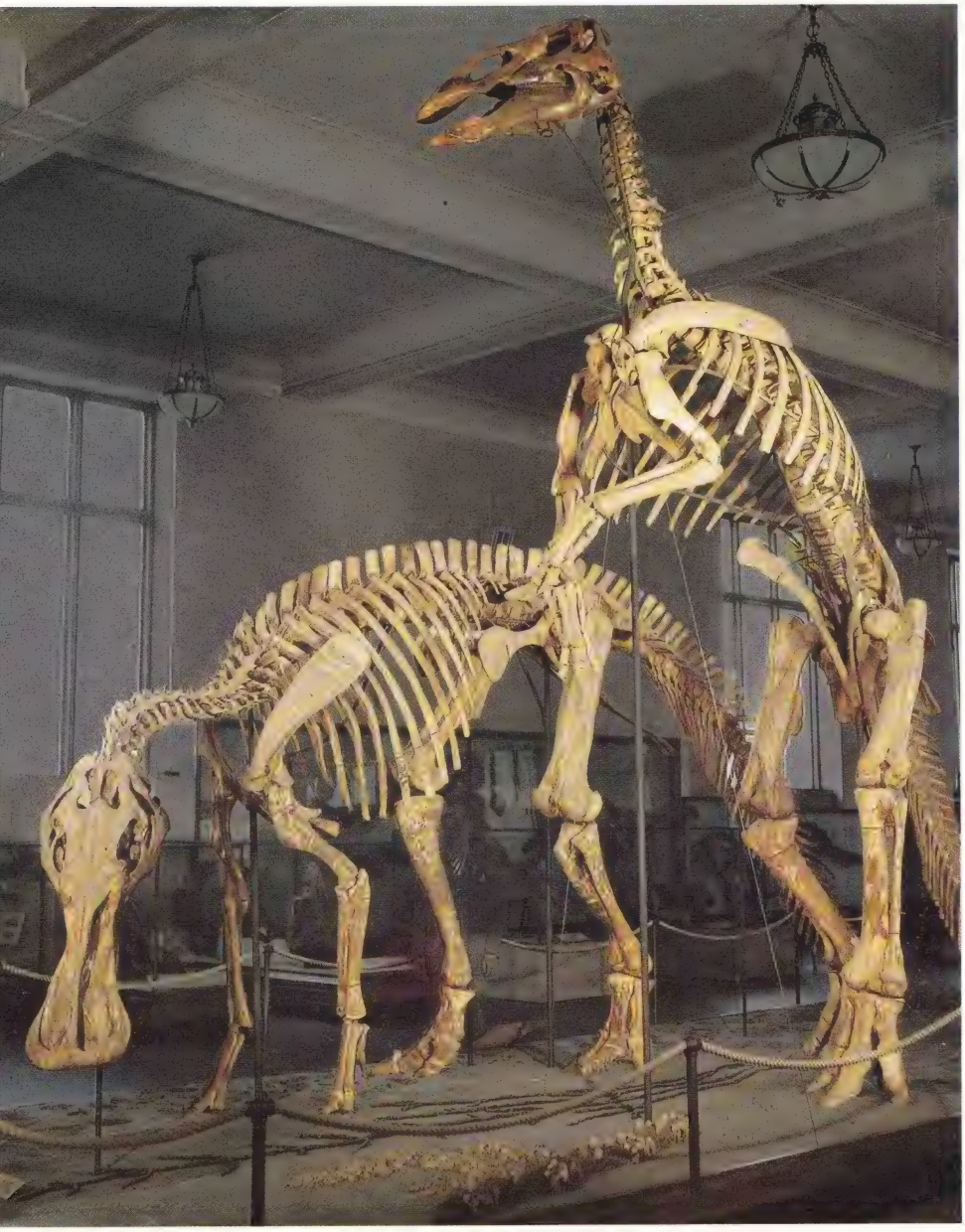
Das Zahnsystem im Unterkiefer des Kritosaurus, eines Entenschnabeldinosauriers, der dem Anatosaurus sehr ähnlich war. Dieses Tier hatte ständig an die tausend funktionstüchtige Zähne.



Leben und Speisezettel des Anatosaurus

Trotz seines entenähnlichen Aussehens hatte der Anatosaurierkopf eine ganz andere Anatomie als der Entenkopf. Seine Kiefer, die vorn ziemlich platt und mit hornigem Schnabel versehen waren, waren hinten mit einer erstaunlichen Batterie von Zähnen ausgestattet, die in Reihen angeordnet waren und dicht nebeneinander standen. Zähne, die durch den Gebrauch abgenutzt waren, wurden sofort durch andere ersetzt. Dadurch verfügte der Anatosaurus immer über rund 1 000 funktionstüchtige Zähne – eine stattliche Anzahl, die auf eine überdurchschnittliche Leistungsfähigkeit beim Vertilgen von Pflanzen hindeutet.

Eine Untersuchung des versteinerten Mageninhalts bei der Frankfurter Mumie lieferte interessante Hinweise über die Nahrungsgewohnheiten des Tiers. Man fand Koniferennadeln, kleine Zweige, Samen und Früchte, was uns zu der Annahme führt, daß der Entenschnabelsaurier



Anatosaurusskelette im Museum of Natural History in New York. In den Schichtungen aus der oberen Kreide in Wyoming wurden auch die „Mumien" dieser Tiere gefunden (wenn man das so nennen darf, da alle Weichteile schon in Sandstein umgewandelt sind).

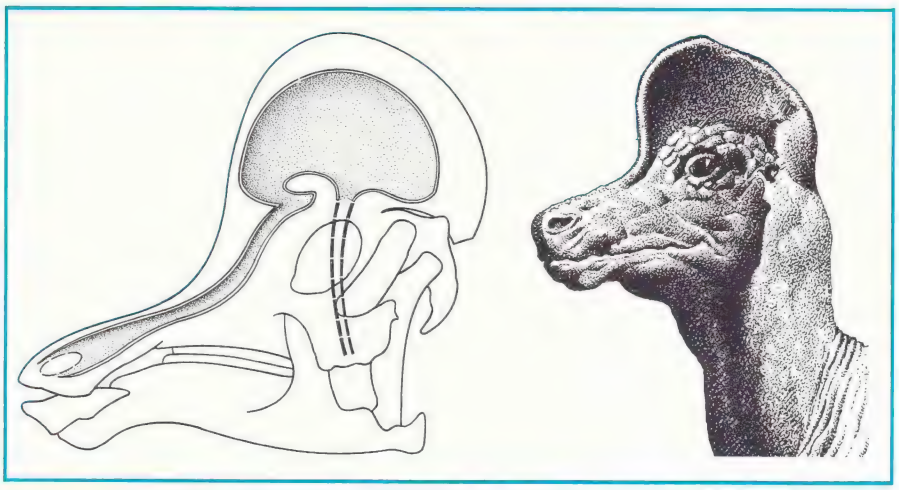
sich nicht den ganzen Tag auf der Suche nach Leckerbissen im Wasser aufhielt, sondern auf dem Festland Zweige abweidete, die er nach Art seines Vorfahren, des Iguanodons, mit den Vorderpfoten ergriff. Angesichts der ausgeprägten, auf das Wasser bezogenen Körpereigenschaften des Tiers mag das sonderbar erscheinen. Offenbar hatte es aber die Landgewohnheiten seiner Vorfahren – trotz seiner bemerkenswerten evolutionären Mutationen – geerbt.

Tatsächlich spielte das Wasser bei der Selbstverteidigung des Anatosaurus eine wichtige Rolle. Statt Knochenplatten, Hörner oder Stacheln zu entwickeln, zog sich der Entenschnabelsaurus ins Wasser zurück, wo er sich gut aufgehoben fühlte. Er verließ es nur, um Nahrung zu suchen oder seine Eier abzulegen. Auf diese Weise konnte er in einer Umgebung gedeihen, die von riesigen, gefräßigen Raubtieren bevölkert war. Er hielt sich in der Nähe von Seen und Wasserläufen auf, in die er bei dem geringsten Anzeichen von Gefahr sofort hineinsprang und dann untertauchte. Natürlich gelang ihm eine solche Flucht nicht immer; manchmal mag vielmehr das gierige Raubtiergebiß seines Feindes ein paar Minuten zu früh zugeschnappt haben. Gelegentlich wird es dem Anatosaurus doch noch gelungen sein, im letzten Augenblick ins Wasser zu fallen, nachdem er tödlich verwundet worden war. Die verzerrten Körperstellungen einiger ausgegrabener Skelette sind wahrscheinlich auf einen solchen Tod zurückzuführen.

Reptilien mit sonderbarem Kopfputz

Etwa ein halbes Jahrhundert nach den ersten abenteuerlichen Expeditionen von Marsh und Cope folgte eine zweite Welle von Dinosaurierentdeckungen im amerikanischen Westen. Diesmal stammten die Dinosaurierfriedhöfe aus der oberen Kreide und wurden in Alberta (Kanada) entdeckt. Hunderte von Skeletten wurden ans Licht gebracht. Oft lagen die Knochen in genau derselben Stellung, in der die Tiere verendet waren. Die Ablagerungen, die gegen Ende der Kreide in einem breiten, ruhigen, durch einen Arm mit dem Pazifik verbundenen Sumpfdelta angehäuft worden waren, blieben über Jahrmillionen ungestört. Unter all diesen Dinosaurierresten befanden sich auch Exemplare des Entenschnabeldinosauriers.

Schon seit den ersten paläontologischen Expeditionen in Amerika war bekannt, daß diese Dinosauriergruppe eine Anzahl von Arten



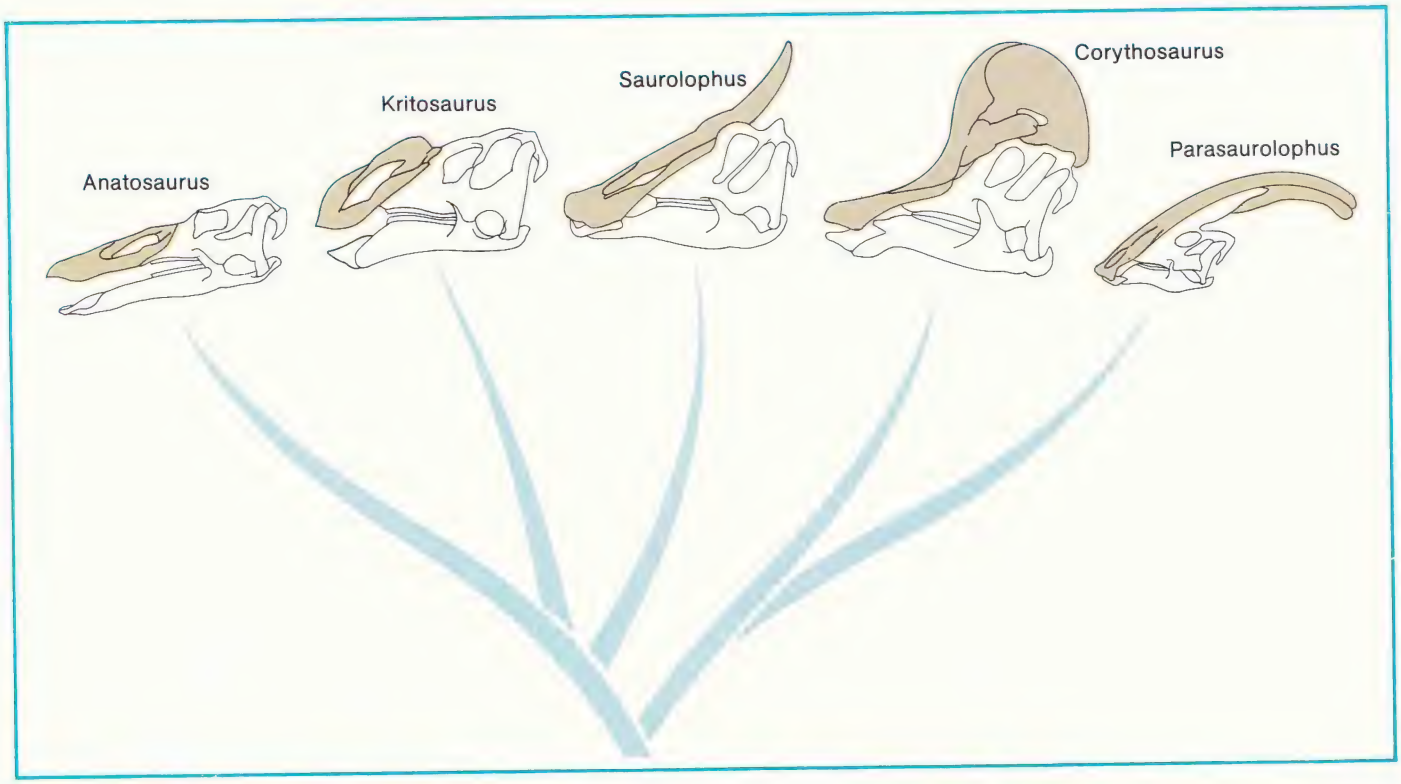
Der seltsame Corythosaurus, ein weiterer Entenschnabelornithopode, dem Anatosaurus ähnlich und von gleicher Größe. Auf seinem Kopf befand sich eine Art spitzer Helm, wodurch er dem heutigen Kasuar, einem Laufvogel Australiens und Neuguineas, im Profil ähnlich sah.

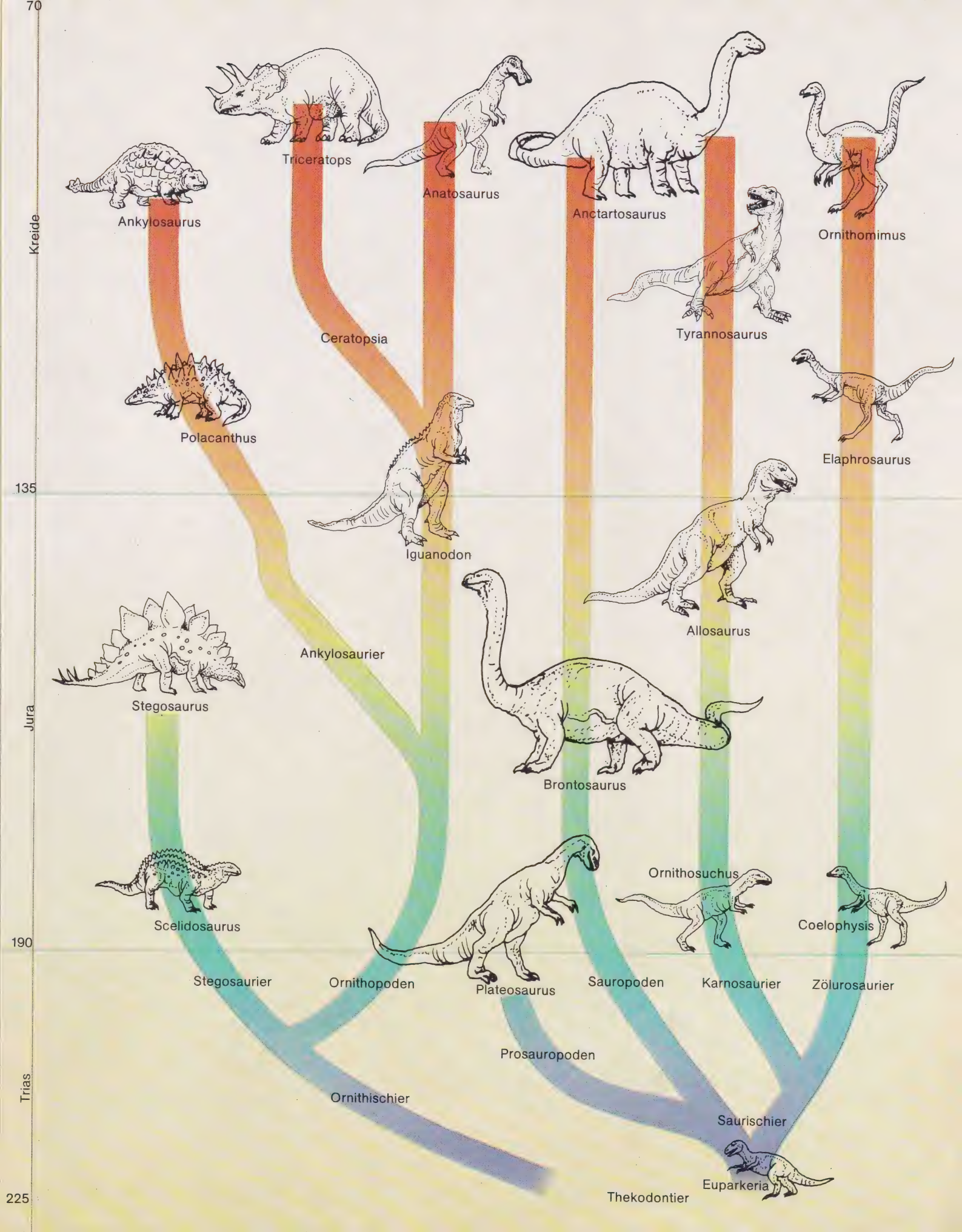
umfaßte, unter denen auch der Name *Trachodon* vorkam. Heute wissen wir, daß es sich dabei um den Entenschnabeldinosaurier handelte. Viel später kamen dann in Kanada noch einige erstaunliche Überraschungen ans Licht. Zusammen mit dem *Edmontosaurus,* der dem Anatosaurus ähnelte, erschien auch der *Corythosaurus,* ein Tier mit einem helmartig zulaufenden Schädel, der ihm ein Profil ähnlich dem des heutigen Kasuars in Australien und Neuguinea verlieh.

Zu den anderen freigelegten Arten gehörten der *Lambeosaurus* mit einem Schädelhelm, der in zwei parallele Kämme geteilt war, der *Saurolophus,* dessen Schädelauswuchs aus einem nach hinten gerichteten Horn bestand, und der *Parasaurolophus* mit seinem langen, gekrümmten, nach vorn zeigenden Horn. Diese Reptilien mit den bizarren Kopfformen gab es nicht nur in Nordamerika. Der Saurolophus z. B. lebte auch in Zentralostasien.

Eine Untersuchung des Schädelinnern dieser sonderbaren Tiere zeigte, daß der knöcherne „Kopfputz" nicht der Verteidigung diente, sondern sich mehr oder weniger windende Röhren enthielt, die mit den Nasenhöhlen und mit der Luftröhre (der Trachea) in Verbindung standen. Bei unseren heutigen Tieren gibt es eine solche Konstruktion nicht, so daß man viele verschiedene Hypothesen aufgestellt hat, um deren Funktion zu erklären. Die logischste unter diesen schreibt den Röhren eine Geruchsfunktion zu. Sie sollen den Geruchssinn vertieft haben, da durch sie die Nasenhöhlen umfangreicher wurden. Eine andere Hypothese vermutet, daß der Kamm bzw. Helm männliche Attribute darstellte und daß das Weibchen einen einfachen entenähnlichen Kopf besaß. Zwar ist dies eine sehr interessante Annahme, aber es sind ernsthafte Einwände dagegen erhoben worden, und zur Zeit gibt es keine eindeutigen Beweise.

Bei den Entenschnabeldinosauriern der oberen Kreide bildeten die Nasenknochen gewisse Auswüchse, die wie Helme oder Hörner aussahen. Diese Skizzen veranschaulichen die Entwicklung der Auswüchse.




70
Kreide
135
Jura
190
Trias
225
Triceratops
Anatosaurus
Anctartosaurus
Ornithomimus
Ankylosaurus
Tyrannosaurus
Ceratopsia
Polacanthus
Elaphrosaurus
Iguanodon
Allosaurus
Ankylosaurier
Stegosaurus
Brontosaurus
Ornithosuchus
Scelidosaurus
Coelophysis
Stegosaurier
Ornithopoden
Plateosaurus
Sauropoden
Karnosaurier
Zölurosaurier
Prosauropoden
Ornithischier
Saurischier
Euparkeria
Thekodontier

Der Schwanengesang der Dinosaurier

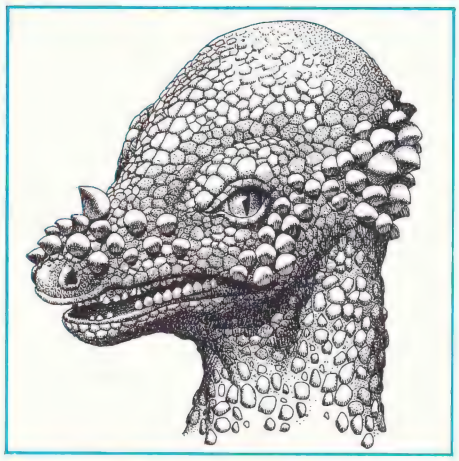
Kuppelköpfe und gepanzerte Kisten

Neben den Entenschnabeldinosauriern lebten in den Sümpfen der oberen Kreide andere, kleinere Dinosaurier, die weniger zahlreich, aber genau so seltsam waren. Sie hatten keinen Entenschnabel, so daß ihre Gesichter durchaus typisch reptilienhaft waren. Ihre Köpfe aber waren wie Kuppeln geformt, und die Schädelknochen waren äußerst dick. Der 60 cm lange *Pachycephalosaurus* z. B., der in den USA gefunden wurde, ist nur durch seinen Schädel bekannt, der oft eine Mächtigkeit von 25 cm erreichte. Viel besser erforscht ist der *Stegoceras* aus Kanada, der in großen Herden lebte. Bei ihm maß die Kopfspitze 10 cm im Durchmesser. Auf Grund solcher Daten glauben viele Wissenschaftler, daß jedes Jahr während der Paarungszeit die Männchen der verschiedenen Stegocerasherden miteinander um die Gunst der Weibchen gekämpft hätten. Diese Rivalenkämpfe seien, ähnlich wie bei den heutigen Widdern, mit Kopfstößen ausgefochten worden.

Mittlerweile hat sich das Panorama der oberen Kreide in seiner ganzen Pracht vor uns entfaltet. Es kommt uns vor, als blickten wir in ein Sagenreich, bevölkert von kolossalen Karnosauriern und straußenähnlichen Zölurosauriern, von Entenschnabelornithopoden und Lebewesen mit Helmen, längst verschwundenen Kriegern ähnlich, oder mit Kuppelköpfen. Und dies sind längst nicht alle Saurierformen. Um das Bild zu vervollständigen, müssen noch zahlreiche andere, extravagante, unglaubliche Formen erwähnt werden.

So gab es eine Gruppe der Ornithischier, die *Ankylosaurier* genannt werden und die sich im Kampf ums Überleben zum anderen Extrem des Entenschnabeldinosauriers hin entwickelt haben: Während der Anatosaurus und seine Verwandten ihre glatte Haut beibehalten hatten und sich auf eine gewisse Flinkheit und ihre Anpassung an das Wasser verließen, um sich gegen ihre Feinde zu schützen, entwickelten die Ankylosaurier einen oft sehr schweren, massiven Panzer als Verteidigungseinrichtung gegen die Angriffe der Karnosaurier. Infolgedessen waren die Tiere sehr schwerfällig und langsam. Ihr Rücken wölbte sich wie der einer Schildkröte, und sie bewegten sich auf vier kurzen Beinen. Weil sie so kurzbeinig waren, berührte der Bauch immer den Erdboden.

Die Entwicklung der Dinosaurier. Nur die Hauptentwicklungslinien werden gezeigt, die Nebenlinien wurden ausgelassen. Auf jeder Linie befinden sich einige der am häufigsten vertretenen Arten oder jene, die in diesem Band beschrieben wurden. Dennoch bedeutet ihr Platz auf den Linien nicht, daß eine direkte Verwandschaft zwischen ihnen besteht. Ganz unten befindet sich ein typischer Pseudosuchus-Thekodontier, die Euparkeria, die anscheinend der direkte Vorfahr aller Saurischier war. Dasselbe trifft jedoch nicht auf die Ornithischier zu, deren Vorfahr aus der Thekodontiergruppe noch unbekannt ist, obwohl auch sie von den Pseudosuchiern abstammen.



Bei ihren Wanderungen durch die Wälder bahnten sie sich ihren Weg, indem sie die rings umher wachsenden Pflanzen mit ihren Seitenstacheln einfach niedermähten. Sie glichen gepanzerten Kisten, die durch ihre scharfen Stacheln unangreifbar waren.

Die Vorfahren dieser bizarren Unterordnung der Ornithopoden waren der *Hylaeosaurus* und der *Polacanthus* im Wealden, die sich immer eine gewisse Wendigkeit erhalten hatten. Ihre Nachfahren in der oberen Kreide bewegten sich dagegen wie Panzerwagen.

Die *Ankylosaurier* (oder *Euoplozephalen*), zu denen die ganze Gruppe gehörte, konnten bis zu 5,40 m lang werden. Außer seinen Seitenstacheln verfügte der Ankylosaurus über einen Schwanz, der wie eine gepanzerte Keule funktionierte und eine brauchbare Waffe abgegeben haben wird. Andere Vertreter dieser Gruppe, die wie der Ankylosaurus wegen ihres Panzers und ihrer Stacheln gut bekannt sind, waren der *Palaeoscincus* und der *Scolosaurus*. In den berühmten Ablagerungen von Alberta wurden fast vollständige Skelette von ihnen gefunden.

Ein Hornvieh namens Triceratops

Die Geschichte der Dinosaurier geht jetzt ihrem Ende entgegen. In dieser letzten Phase entwickelte sich eine neue Ornithischierform, bei der man eher an Nashörner als an Dinosaurier denken könnte. Es handelt sich um die Gruppe der *Ceratopsia* oder *Horndinosaurier*. Wir haben sie zuerst in der Mongolei mit dem bescheidenen Protoceratops kennengelernt. Jetzt, am Ende der Kreide, waren sie über den ganzen nordatlantischen Kontinent verbreitet als gewichtige Tiere mit bedrohlichen Hörnern.

Der größte von allen war der *Triceratops* in Nordamerika, 10,50 m lang und 9 t schwer. Allein sein Kopf dürfte 2,50 m gemessen haben. Sein Maul war schnabelförmig. Hinten an seinem Nacken wuchs ein kompakter, hochstehender knöcherner Kamm, der den ganzen Nacken bedeckte. Zwei lange, spitze Hörner ragten über den Augen aus dem Kopf, während ein drittes kleineres Horn dem Tier auf der Nase saß.

Der Triceratops bewegte sich auf vier kräftigen, aber zugleich behenden Füßen vorwärts. Jüngste Untersuchungen haben ergeben, daß er mit einer Geschwindigkeit von rund 50 Stundenkilometern galoppieren konnte. Man kann sich gut vorstellen, daß vor einem mit solcher Geschwindigkeit anstürmenden Fleischberg sogar ein Tyrannosaurus kapituliert hätte. So mancher Tyrannosaurus wird im Kampf von den gefährlichen Hörnern des Triceratops durchbohrt worden sein.

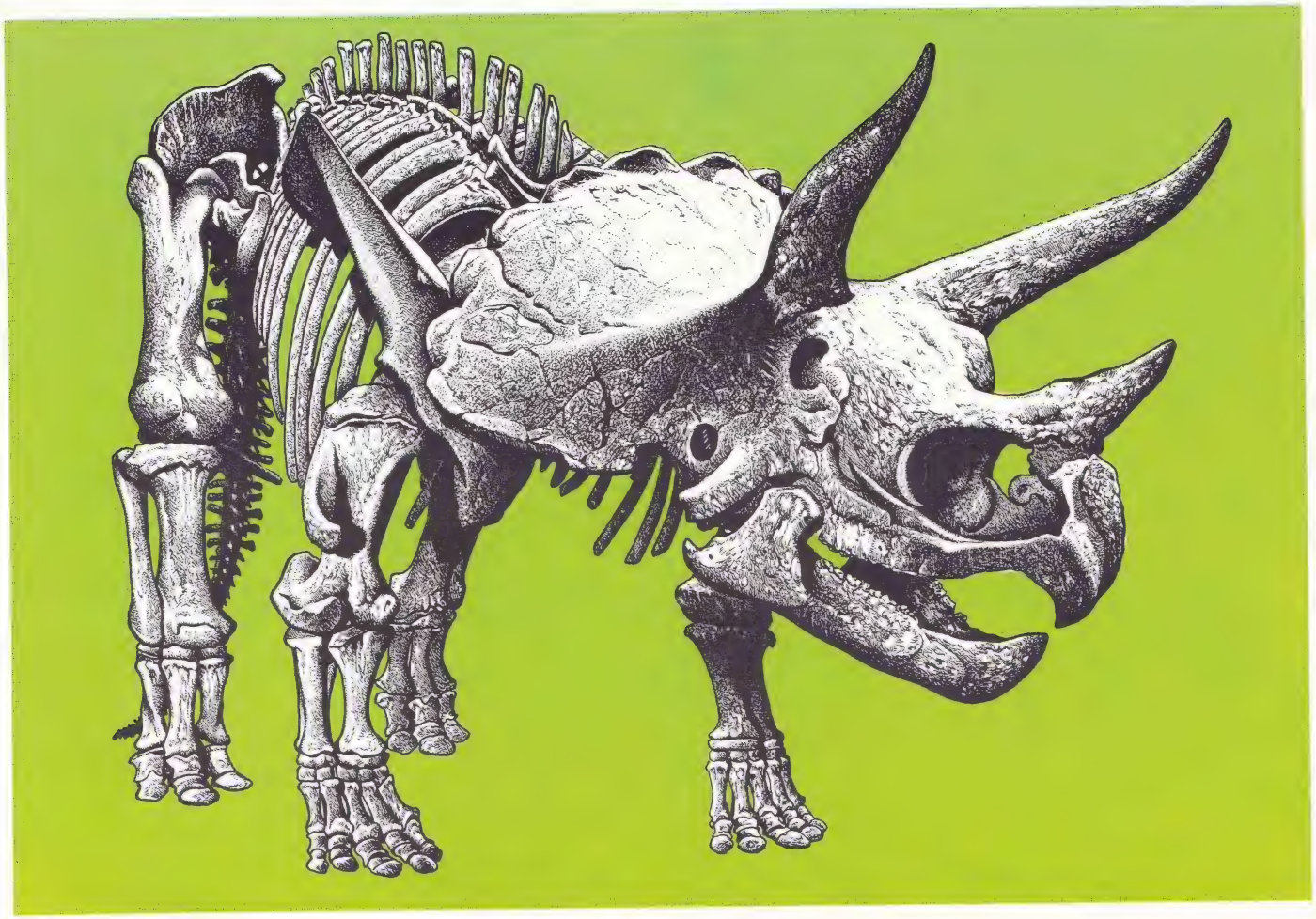
Die Hörner des Triceratops waren mit je einer Hornkappe überzogen, die sie noch länger machte. Auch bei den Weibchen gab es diese Kappen, so daß man annehmen kann, daß sie der Verteidigung und nicht den Machtkämpfen zwischen männlichen Tieren während der Paarungszeit dienten.

Die Triceratopse wanderten gewöhnlich in großen Herden umher. Während sie eifrig an den Blättern von Palmfarnen (ihrer Hauptnahrung) kauten, waren sie immer auf der Hut und bereit, jeden Störenfried mit der unaufhaltsamen Gewalt einer Panzerdivision anzugreifen und niederzuwalzen.

Oben: Der Kopf eines Pachycephalosaurus, eines Ornithopoden aus der oberen Kreide Amerikas. Dieses Tier hatte einen kuppelförmigen Schädel, dessen Knochen oben bis zu 25 cm dick waren. Wie bei einem ähnlichen Dinosaurier, dem Stegoceras, brauchten die Männchen wahrscheinlich solche kräftigen Schädelknochen, um bei den alljährlichen Machtkämpfen zur Paarungszeit erfolgreich zu sein; sie kämpften nämlich Kopf gegen Kopf wie die heutigen Widder.

Andere Mitglieder der Ceratopsia

Die oft vollständigen Skelette, die in Alberta gefunden wurden, haben eine riesige Fülle an Information über die Ceratopsia geliefert. Weitere Entdeckungen, die in den USA und in der Mongolei gemacht wurden, haben dazu beigetragen, das Bild zu vervollständigen, so daß die



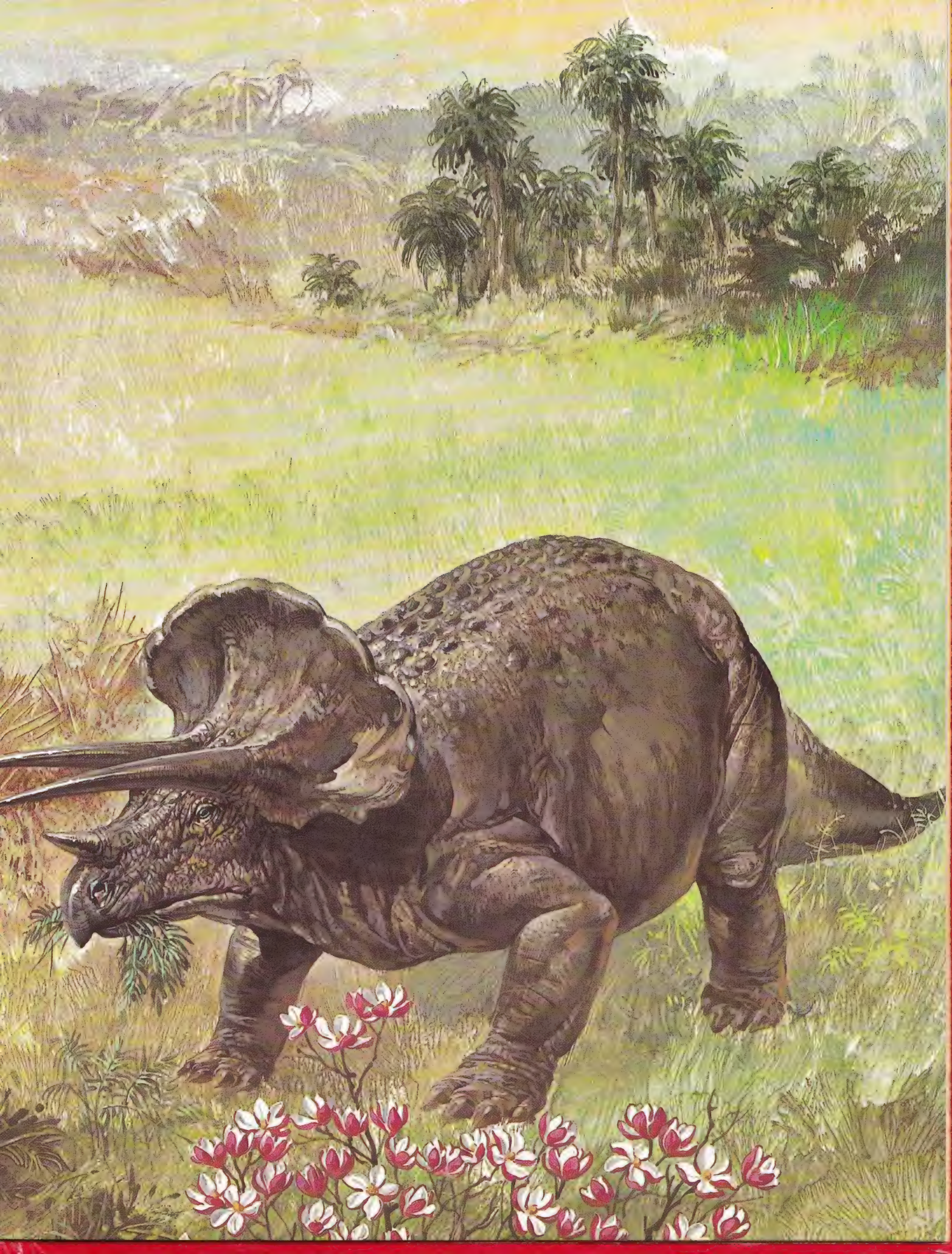
Oben: Skelett eines Triceratops, des größten und kräftigsten der Horndinosaurier aus der oberen Kreide. Dieses Reptil konnte eine Länge von 10,5 m erreichen.

Paläontologen heute in der Lage sind, die Geschichte der Horndinosaurier in ihren Einzelheiten darzustellen. Dabei wird deutlich, wie die Zahl der verschiedenen Arten in dieser Familie gegen Ende des Dinosaurierzeitalters abnahm.

Die Ceratopsia verfolgten viele Evolutionswege. Einer von ihnen endete mit dem Triceratops, der sich aus dem Protoceratops über den 4,80 m großen, nur mit einem Horn bewaffneten *Monoclonius* entwickelt hatte. Ein anderer Evolutionsweg führte zum *Styracosaurus.* Er war etwa so groß wie der Monoclonius und mit einem ähnlich spitzen Horn auf der Stirn ausgerüstet. Der Styracosaurus verfügte auch über einen riesigen Stachelkranz, der aus seinem knöchernen Nackenschild herauswuchs und ihn zu einer respekteinflößenden Erscheinung machte. Ein dritter Entwicklungsweg führte zum *Torosaurus,* der etwas kleiner als der Triceratops war und ein direkter Nachfahre des *Pentaceratops* (mit fünf Hörnern) war.

All dies kennzeichnet eine rapide, fast explosive Entwicklung von unbesiegbaren Reptilien. Die Ceratopsia kämpften mit den Ankylosauriern um das Weideland über den großen Weiten des nordatlantischen Kontinents. Wenn sie in Herden auftraten, die Hörner zum Angriff gesenkt, hat wahrscheinlich ihr bloßer Anblick schon viele Karnosaurier, von welcher Stärke auch immer, in die Flucht geschlagen. Auf diese Weise überdauerten ihre Arten Jahrmillionen. Wie bei den Ankylosauri-

Abbildung auf den beiden folgenden Seiten: Die Vertreter von Triceratops in ihrer natürlichen Umgebung. Obwohl sie Pflanzenfresser waren, konnten diese Lebewesen sehr gefährlich werden, wenn sie sich bedroht fühlten. Vor kurzem schätzte ein Paläontologe, daß der Triceratops imstande war, mit einer Geschwindigkeit von 50 km in der Stunde zu galoppieren. Bei einer derartigen Geschwindigkeit dürfte ein so riesiger Koloß, mit Hörnern bewaffnet, sogar den Tyrannosaurus in die Flucht geschlagen haben.



ern hatten auch bei den Ceratopsia solche gewaltigen Veränderungen stattgefunden, daß sie auch nicht mehr das geringste mit den klassischen Formen der Dinosaurier gemein hatten, die in der fernen Trias entstanden waren.

Untersuchungen der kanadischen und amerikanischen Ablagerungen haben gezeigt, daß gegen Ende der Kreidezeit viele der mehr pittoresken Ceratopsiaarten schon ausgestorben waren, zusammen mit mehreren Ankylosaurierarten und den Entenschnabeldinosauriern. Es gab aber immer noch viele Theropoden und riesige Herden von Anatosauriern. Dann verschwanden auch diese. Zuletzt gab es nur noch den Triceratops, der schwerfüßig und ahnungslos über die Friedhöfe all der „Schreckensechsen" hinwegstampfte. Dann verschwand auch er.

Die Gründe für das Aussterben der Dinosaurier

Damit ist die lange Geschichte der Dinosaurier an ihr Ende gelangt. Diese Lebewesen waren über 130 Millionen Jahre lang die unbestrittenen Herrscher unseres Planeten gewesen und wurden jetzt unwiderruflich durch die Zerstörung des ökologischen Gleichgewichts am Ende des Mesozoikums ausgelöscht. Sie erlitten dasselbe Schicksal wie die Ammoniten, Belemniten, Ichthyosaurier, Mosasaurier, Plesiosaurier und Flugsaurier.

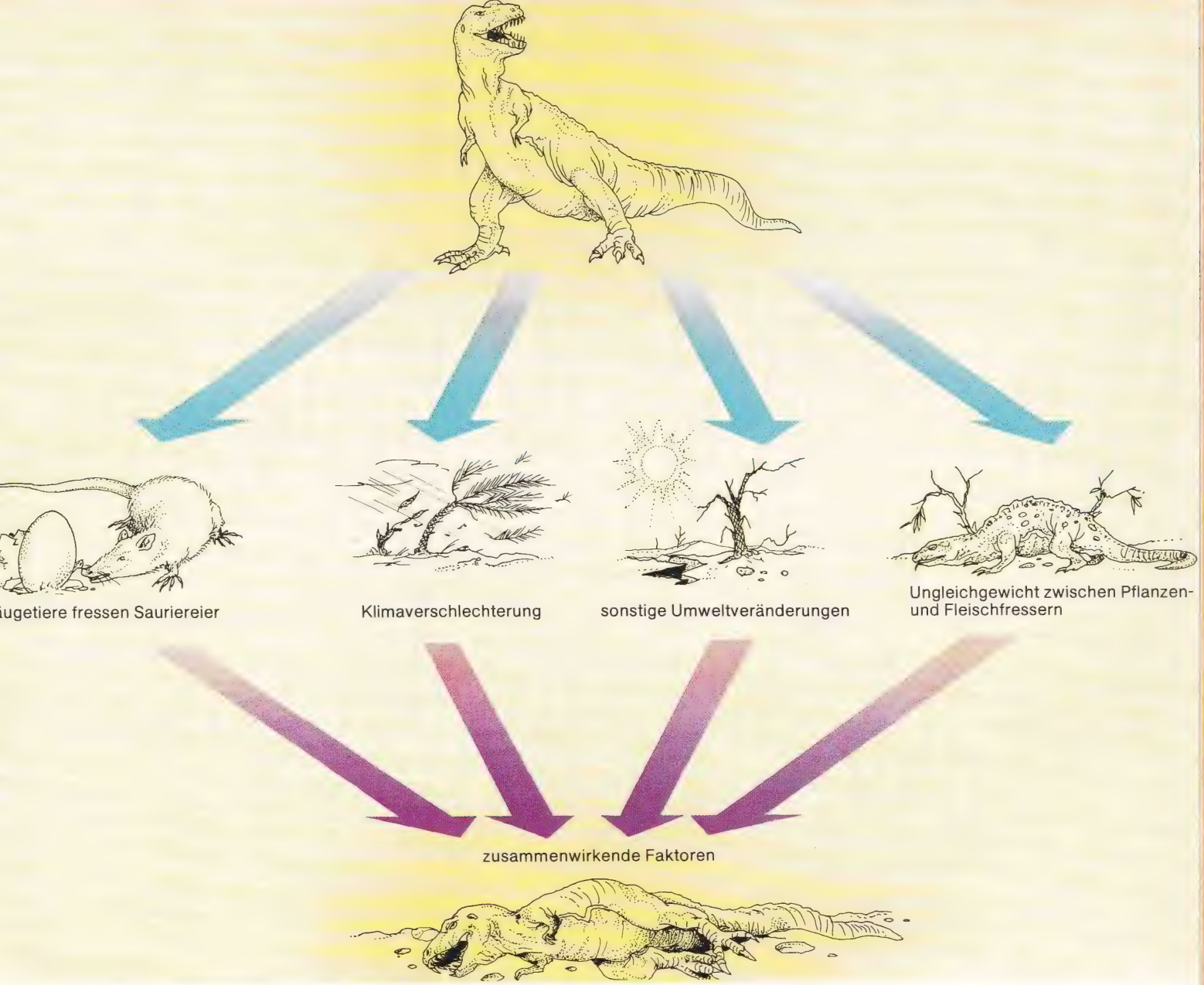
Es wurden allerlei Mutmaßungen über das Verschwinden der Dinosaurier angestellt. Wer die Kraft der Tiere in den Fossilien bewundert, kann einfach nicht begreifen, daß dies alles unwiederbringlich verschwunden sein soll. Sehr häufig versäumt man es bei solchen Überlegungen, das Aussterben in der richtigen Perspektive zu sehen.

Viele Leute glauben zum Beispiel, daß die Dinosaurier urplötzlich verschwunden seien, als hätte sie ein Orkan hinweggefegt. Man stellt sich das so vor, als seien die Tyrannosaurier, die Stegosaurier, die Brontosaurier und die Ceratopsia Zeitgenossen gewesen und alle gleichzeitig, einer nach dem anderen, von der Bühne des Lebens abgetreten. Aber natürlich wissen wir genau, daß die Geschichte der Dinosaurier nicht einfach, sondern kompliziert war, und daß ihr Aussterben sich allmählich, Schritt für Schritt, vollzogen hat.

Andere Leute meinen, die Dinosaurier seien mit der Welt, in der sie lebten, nicht fertig geworden, da sie zu groß und zu schwerfällig waren und mit anderen Lebewesen nicht erfolgreich konkurrieren konnten. Keiner von diesen Leuten scheint sich daran zu erinnern, daß die Zeitspanne, in der sie lebten, mit 130 bis 135 Millionen Jahren als wahres Wunder anzusehen ist.

In der Vergangenheit haben viele Wissenschaftler mehr oder weniger zuverlässige Theorien darüber entwickelt, warum und wie die Dinosaurier ausgestorben sind. Manche behaupten, daß nach so überaus reicher Vermehrung eine Art rassischer Senilität unter den Dinosauriern einsetzte, so daß sie schließlich ihr Interesse an der Fortpflanzung verloren. Andere meinen, es habe sie eine tödliche Epidemie heimgesucht. Wieder andere glauben, ihr Aussterben hänge damit zusammen, daß die kleineren Säugetiere der Kreidezeit die Dinosauriereier aufgefressen hätten. Heute gelten all diese Theorien als überholt, obwohl jede einzelne durchaus auch ein Körnchen Wahrheit enthalten mag.

Heute vertreten die Wissenschaftler die These, daß der Untergang des Dinosaurierreichs mit einer Reihe von Umweltfaktoren zusammenhing, allen voran mit einer drastischen Klimaveränderung. Neue und



Schematische Darstellung der möglichen Gründe für das Aussterben der Dinosaurier.

gründlichere Untersuchungen haben ergeben, daß diese Reptilien „warmblütige" Tiere waren. Das wird einerseits durch ihre Knochenstruktur, andererseits durch ihre Art, sich zu bewegen, und ihr sonstiges Verhalten bestätigt, das auf höchst aktive Tiere hindeutet.

Derartige Tiere konnten nun in einem warmen Klima sehr gut gedeihen. Aber wenn die Temperatur ins Schwanken geriet, wie es in unseren temperierten Zonen der Fall sein kann, verlangsamte sich der Rhythmus ihrer Lebensfunktionen allmählich auf Null. Normalerweise haben warmblütige Lebewesen Haare, Federn oder Fett, um sich gegen eine kühlere Umwelt zu schützen. Die glatte Reptilienhaut der Dinosaurier aber bot keinen solchen Schutz, und so endete ihre Ära im ausgehenden Mesozoikum, während kleinere, primitivere, kaltblütige Reptilien durch ihre bessere Anpassungsfähigkeit überlebten.

Man meinte auch, der Klimawechsel sei abrupt erfolgt und zeitlich begrenzt gewesen, ausgelöst etwa durch eine Sternexplosion (die jüngste Theorie zweier Amerikaner, Dale Russell und Wallace Tucker).

Natürlich könnte eine solche Sternexplosion die Erde mit Röntgen- und Gammastrahlen überschwemmt haben. Die sich ergebende Turbulenz in der Atmosphäre könnte dabei eine vorübergehende Eiszeit ausgelöst und sämtliche riesigen warmblütigen Reptilien vernichtet haben.

Dies ist eine spektakuläre und verführerische Hypothese. Sie ist allerdings wenig wahrscheinlich. Wir brauchen nur daran zu denken, wie kompliziert die Wechselbeziehungen zwischen Organismen und ihrer Umgebung sind und wie schnell sich schon aus geringfügigen Anlässen ökologische Katastrophen ergeben können. Der Mensch von heute hat ebenfalls das Gleichgewicht auf diesem Planeten (wissentlich) zerstört und muß deshalb einen solchen ökologischen Zusammenbruch fürchten. Ein solcher „Zusammenbruch" fand jedoch in der Kreide nicht statt.

Es kam vielmehr zu einer tiefgreifenden Veränderung aller Lebensgemeinschaften, während sich das Klima auf der Erde langsam veränderte. Diese Veränderung war überall zu spüren, nicht nur auf dem festen Land. Auch die Zephalopoden, die in ungeheuren Schwärmen die Ozeane bevölkerten, verspürten sie und dementsprechend auch die großen Seereptilien, die von ihnen lebten. Dies wird durch gewisse

Veränderungen in der Fischwelt bewiesen, die schließlich das Aussterben der großen geflügelten Archosaurier, der Pteranodonten, verursacht haben mag, welche ausschließlich Fische jagten.

Auf dem Festland versuchten sich die Dinosaurier den klimatischen Veränderungen innerhalb der Grenzen ihrer Entwicklungsmöglichkeiten anzupassen. Aber die Schwierigkeiten, mit denen sie konfrontiert wurden, waren unüberwindlich. Diese Klimabedingungen hatten ja nicht nur einen negativen Effekt der allgemeinen Abkühlung wegen, sondern auch dadurch, daß sie die Vegetation umgestalteten. Sie zerstörten dadurch schließlich das Gleichgewicht, das so vielfältig aufgefächert unter den Pflanzenfressern und entsprechend auch zwischen Pflanzenfressern und Fleischfressern herrschte. Der allmähliche Prozeß der allgemeinen Umgestaltung gelangte schließlich in den verzweifelten Bemühungen der Dinosaurier, sich an eine sich verändernde Umwelt anzupassen, an einen kritischen Punkt. Damit war die Herrschaft der stolzen Reptilien gebrochen. Aber die Erde war geschaffen, lebende Wesen zu beherbergen, und in den Spuren der ausgestorbenen Dinosaurier warteten bereits die neuen Herren: die Säugetiere.

Das Ende der Dinosaurierherrschaft nach der Hypothese von einer Supernovaexplosion in der Nähe unseres Sonnensystems. Nach dieser Theorie wurde die Erde nach einer solchen Sternkatastrophe mit großen Mengen von Röntgen- und Gammastrahlen überschwemmt. Die sich ergebende Turbulenz in der Erdatmosphäre verursachte sehr schnell eine vorübergehende Eiszeit, die sich für die großen Reptilien als tödlich erwies. Es bildeten sich Gletscher auf Hügeln und Gebirgen, und die fruchtbaren Ebenen, in denen die Dinosaurierherden beheimatet waren, wurden von Schnee bedeckt. Also wird vermutet, daß ein weltweites Sterben unter den mächtigen Reptilien einsetzte; zur selben Zeit machten alle Lebewesen tiefgreifende Veränderungen durch.

Bibliographie

Andrews, R. C.: In the days of the dinosaurs, Westminster (Md.) 1959
Beiser, A.: Die Erde, dt. Übers., Amsterdam und Frankfurt 1969
Brouwer, A.: General palaeontology, engl. Übers., Chicago 1967
Cox, B.: Prehistoric animals, New York 1971
Dal Piaz, G.: Lezioni di paleontologia. Bd. 1: Introduzione generale e invertebrati, Padua 1959
Dal Piaz, G./Malaroda, R.: Paleontologia. Bd. 2: Vertebrati, Padua 1966
Grzimek, B. (Herausgeber): Grzimeks Tierleben, Zürich 1967–73
Jarma, C.: L'evoluzione della vita, Mailand 1971
Kirkaldy, J. F.: Fossilien in Farben, dt. Übers., Ravensburg 1971
Kurtén, B.: Die Welt der Dinosaurier, dt. Übers., Frankfurt 1974
Leonardi, P.: Trattato di geologia, Turin 1968
Ligabue, G., u. a.: I dinosauri del Teneré, Mailand 1972
Moore, F.: L'evoluzione, Mailand 1969
Moore, R. C., u. a.: Invertebrate Fossils, New York 1952
Padoa, E.: Storia della vita sulla Terra, Mailand 1971
Piccoli, G.: Lezioni di paleobotanica, Padua ^{2}1970
Pinna, G.: Fossili, Mailand 1974
Pinna, G.: Fossili; Invertebrati, Novara 1972
Pinna, G.: Paleontologia ed evoluzione, Mailand 1974
Rhodes, F.H.T., u. a.: Fossils, Racine (Wis.) 1962
Romer, A. S.: L'évolution animale, Paris 1970
Ruggieri, G.: La Terra prima di Adamo, Mailand 1973
Spinar, Z. V./Burian, Z.: Leben in der Urzeit, dt. Übers., Hanau ^{4}1976
Takeuchi, H., u. a.: Debate about the Earth, San Franzisko 1967
Trevisan, L./Tongiorgi, E.: La Terra, Turin 1958
Zim, H. S.: Colossi della preistoria, Mailand 1959

Bildquellennachweis

BILDTAFELN UND ZEICHNUNGEN

Cattaneo, Bergamo: 50/51, 56/57, 92/93, 108/109, 233, 254/255; Corbella, Mailand: 6, 7, 42, 44, 45, 60, 61, 74/75, 76 (unten), 77 (oben), 81, 90, 94, 97, 102, 106, 123, 146, 158/159, 184, 187 (oben), 196, 199, 201 (links), 202/203, 205, 219, 236/237, 248, 249, 252; Cozzaglio, Brescia: 59 (rechts), 62, 76 (oben), 77, 82, 86, 96, 120, 126, 130, 148, 172 (oben), 174, 180/181, 188/189, 192 (unten), 211, 217, 223, 226, 227, 229, 242/243, 244, 253; Curiel, Verona: 144, 154, 165, 183 (rechts), 200, 208, 245, 246; Di Ciancio, Mailand: 34/35, 46/47, 49, 58/59, 63, 70/71, 95, 103, 104/105, 118/119, 136/137, 152/153, 162/163, 166/167 (unten), 171, 175, 209, 214/215, 220; Fedini, Mailand: 8/9, 20, 52, 78, 87, 88, 110, 114/115, 124/125, 128/129, 132, 149, 185, 194/195, 232, 250, 257, 258/259; Ghiringhelli, Mailand: 11, 12 (links), 14, 15, 22 (links), 24, 27, 28/29, 31, 32, 36, 37, 39, 48, 55, 68, 72, 74 (links), 112, 113, 134 (links), 135, 142, 150, 151, 155, 156 (unten), 157, 179, 212, 218, 224/225, 231, 234; Sergio, Mailand: 140/141; Squillantini, Florenz: 16.

FOTOGRAFIEN

American Museum of Natural History, New York: 145, 156 (oben), 160, 176, 187 (unten), 190, 235, 241, 247; Britisches Museum, London: 80, 84, 122, 138, 172 (unten), 201 (rechts), 204, 206; Carrese, Mailand: 238; Fiore, Turin: 230; Grazia Neri, Mailand: 33, 121; Hoa-Qui, Paris: 91; Institute of Geological Sciences, photo published by permission of the Director, N.E.R.C. ©, Edinburgh: 30; Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Tübingen: 104 (links); Jacana/Visage, Paris: 198; Lane, London: 169; Lane-Lynwood, London: 64 (oben); Magnum-Haas, Mailand: 65, 131 (unten); Marka, Mailand: 22/23, 40, 66, 73, 98, 101, 139; Mazza, Mailand: 10, 12/13, 17, 18/19, 43, 54, 83, 107, 131 (oben); Mella, Mailand: 192 (oben), 222; Mondadori-Archiv, Mailand: 25, 28 (links), 164, 167 (oben), 193; Museo di Paleontologia dell'Università di Pavia: 134 (rechts); Museo di Storia Naturale di Milano/Pinna: 27 (links), 32 (links), 33, 69, 81 (unten), 100, 116, 117, 119 (rechts), 120 (rechts), 210; Museo Geologico e Paleontologico, Università di Padova-Dal Gal, Verona: 96 (rechts); Museum für Naturkunde, Berlin: 183 (links); Museum Hauff, Holzmaden-Teck, Württemberg: 168; Pictor, Mailand: 4; Quilici, Rom: 143, 213; Ricciarini/Cirani, Mailand: 173; Ricciarini/Tomsich, Mailand: 38; Smithsonian Institution (Museum of Natural History), Washington: 182, 197; Städtisches Lapidarium, Stoccarda: 127; US National Museum, Washington: 82 (unten), 216.

Register

Kursive Seitenzahlen beziehen sich auf Abbildungen oder auf Text und Abbildungen

Abilene 76
Acantherpetes 44
Adlerechsen s. Aetosaurier
Aetosaurier (Adlerechsen) *127*
Aistopoden s. Schlangenlurche
Albatros 218
Albertosaurus 244
Allantois 64
Alligator 148
Alligatorei *64*
Allosaurier, Allosaurus *148, 155,* 186f., *188/189, 190*
Allosaurierfußabdrücke *187*
Alytes obstetricans s. Geburtshelferkröte
Amblystoma tigrinum s. Tigersalamander
Ammoniten *42,* 76, *88, 164,* 165, *216*
Amnion 64
Amnioten 65
Amphibien (Lurche) 12, 16, 18, *52,* 53, 61, 79, 99
Amphibienohr 16
Anamnioten 65
Anatosaurier (Entenschnabeldinosaurier), Anatosaurus *220, 242/243,* 246, *247, 249,* 256
Anchisaurus 134
Anctartosaurus 234
Ankylosaurier (Euoplozephalen) 251f., 256
Antarktis 68
Anthrakosaurier, Anthracosaurus (Kohlenechse) *58/59,* 60
Araeoscelis *96*
Archäopteryx (Urvogel) 204, *205f.*
Archelon 216
Archosaurier 127, 148, *149,* 217f.
Arctognathus 94
Armmolch *107*
Arthropleura *44*
Arthropleuriden 44
Askeptosaurus *120*
Aspidospondyli 59
Axolotl 108

Bahrijjaoasen 232
Bärlappe (Lycopsida) 27, 72
Bärlappgewächse *20*
Baumfarne *34/35*
Belemniten 165
Bennettitales *174f.*
Bernissart 221
Blaualgen *88*
Brachiosaurus *183f., 185,* 186
Branchiosaurier, Branchiosaurus *60,* 228
Brontosaurier, Brontosaurus (Donnerechse) *176,* 178f., *180/181,* 182, 184, 187, *188/189, 190*
Brontosaurierfußabdrücke *187*
Brown, B. 239
Brückenechse s. Tuatera

Cacops *81*
Camarasaurus *183,* 184
Camptosaurus *193,* 196
Carnegie, A. 184
Cephalaspis 11
Ceratopsia (Horndinosaurier) 238, 252f., 256
Ceratosaurus *187,* 190
Ceresiosaurus 113
Cetacea s. Wale
Cetiosaurus 138, 184, 228
Chasmatosaurus *150*
Chelurosaurier 155
Chialingosaurus 197
Chlamydosaurus *198*
Chorion 64
Cladoselache 51
Clidastes 215
Coconino-Formation 72
Coelophysis 155, *156,* 157
Colorado *22/23, 143,* 144f., 157
Compsognathus 191, *192*
Connecticut River 134f.
Connecticut River Valley *136/137*
Cope, E. D. 144f.
Corythosaurus *248,* 249
Cryptocleidus oxoniensis *172*
Cuckfield 138
Cuvier, G. 138
Cyclotosaurus *103*
Cynodontia 122f.
Cynognathus *122ff.*

Deinonychus 245
Deinosuchus (Phobosuchus) 219, *220*
Delphin *112*
Desmatosuchus *150*
Devon 11
Diadectes *82,* 84
Dicraeosaurus *233*
Dicynodontia 90f., *92/93,* 94, 122
Dimetrodon (Texasdrache) 85, *86f.*
Dimorphodon *201*
Dinosaurier 97, 111, 133ff., *136/137,* 143, 147f., 164, 198, 235, 256ff.
Dinosaurierentwicklung *250*
Dinosaurierfährten *134f.*
Dinosaurierfriedhof 144, 177f., 228, *230,* 248
Dinosaur National Monument 145
Diplocaulus *77,* 79
Diplodocus *182,* 226
Diplovertebron 61, *63,* 82
Dipnoi s. Lungenfische
Diptera s. Zweiflügler
Dolichosoma *55ff.*
Dollo, L. 222
Donnerechse s. Brontosaurier
Dottersack *64*
Dreilappkrebse s. Trilobiten
Dsungaripterus *218*

Edaphosaurus *87*
Edmontosaurus 249

Eichstätt 204
Elaphrosaurier, Elaphrosaurus *231*
Elasmosaurier, Elasmosaurus 211 f., *214/215*
Elpistostega *11*
Embryonalhüllen *64*
Enaliornis 218
Endothiodon 90
Entenschnabeldinosaurier s. Anatosaurier
Eogyrinus (Pteroplax) 60, *61*
Eophrynus *44*
Eosuchus 119 f.
Equisetatae s. Schachtelhalme
Equisetum s. Schachtelhalm
Erdaltertum s. Paläozoikum
Erdmittelalter s. Mesozoikum
Erdöl 39 f.
Erdölfeld *40*
Eryops *15, 78, 80*
Eubrontes 135
Eunotosaurus *85*
Euoplozephalen s. Ankylosaurier
Euparkeria *124/125,* 126, 150, *155*
Euphoberia brownii *44*
Eusthenopteron *7, 15*
Evolution 12, 55, 62, 82, 116

Fabrosaurus 193, 196
Farne (Pteropsida) *58/59,* 72, 174
Farnpflanzen (Pteridophyten) *20,* 26, 74
Faure, H. 230
Fischechsen s. Ichthyosaurier
Fischschädellurche s. Ichthyostegalia
Fledermäuse 200
Flügel 48
Flugfinger s. Pterodactylus
Flugreptilien 217
Flugsaurier s. Pterosaurier
Fusulina 41

Gadoufaoua 228, 230 f.
Gallornis 218
Gametophyten 26, 33
Gangamopteris 72
Gaußhalbinsel 5
Gavial 220
Geburtshelferkröte (Alytes obstetricans) *16* und *17*
Gehörknöchelchen 16
Geosaurus *166,* 168
Gerrothorax *109*
Gillicus s. Ichthyodectes
Ginkgobaum *74,* 75, 100
Glen Rose 187
Gliederfüßer 43, 45
Gliedmaßen 14
Globidens 215
Glossopteris *69, 70/71,* 72
Glyphioceras *42*
Gondwanaland 68 f., *70/71,* 72, 74, 89, 164
Gorgonopsiden 91, *92/93,* 94
Gorgosaurus 244
Grand Canyon 21, *22/23*
Granger, W. 177 f.
Grasfrosch (Rana temporaria) *18/19*
Grashüpfer 48
Great Heilman Mountains 67
Griphosaurus 204
Grubenzähner s. Thekodontier

Hai 42, *112,* 210
Hainschnirkelschnecke (Helix nemoralis) *43*
Hautflügler (Hymenoptera) 76
Hawkins, T. H. 169
Helix nemoralis s. Hainschnirkelschnecke
Hesperornis 218, *219*
Hesperosuchus *151,* 152
Hexapoden *45,* 48
Hippurites *216*
Horlick-Kette 68
Horndinosaurier s. Ceratopsia
Hühnerei 62
Hybodus *76*
Hylaeosaurus 143, 227, 252
Hylonomus 61, *62*
Hymenoptera s. Hautflügler
hypozerker Schwanz 6, 113, 170
Hypselosaurusei *234*
Hypsilophodon 227, *229*

Ichthyodectes (Gillicus) *211*
Ichthyornis 218
Ichthyosaurier (Fischechsen), Ichthyosaurus 111, *112 f.,* 170, 171, 174
Ichthyostega s. Ichthyostegen
Ichthyostegalia (Fischschädellurche) 59
Ichthyostegen 5, *6,* 10 f., *12/13,* 19
Iguanodon 138 f., *142, 222, 223, 224/225,* 226, 227, 231
Iguanodonfußabdrücke *226*
Iguanodonzahn *138*
Imitoceras *24*
Inkohlung (Karbonisation) 38 f.
Inostrancevia 94
Insekten 45, 48, *88*

Jardin des Plantes 108
Jonkeria *90*
Jura 164, 174, 204

Kalamiten *31, 34/35, 58/59*
Kannemeyeria 122
Karbon 21, 24, 37, 41, 43, 45, 48 f., 67
Karbonisation s. Inkohlung
Karbonwälder 33, *34/35*
Karnosaurier *155,* 186
Karru 84, 89, *91,* 151, 153
Karruformation 84
Kaulquappe *18/19*
Keimscheibe (Hahnentritt) 64
Kentrurosaurus 197

Kleinsaurier (Microsauria) 54
Kohle 38, 40
Kohlenbergwerk *37*
Kohlenechse s. Anthracosaurus
Kohlenflöze *37*, 38
Komodowaran 212, *213*
Königin-Alexandra-Kette 67
Kopffüßer *20*
Korallen *20*
Kordaiten *32*, 37, *70/71*
Körpertemperatur 86
Kotylosaurier 83, 85, 122
Kreide 207, 208, 216
Krinoiden *20*, 41
Kritosauruskiefer *246*
Krokodil 130, 148
Kronosaurus 211, *212*
Krossopterygier s. Quastenflosser

Labyrinthodontia s. Labyrinthzähner
Labyrinthzähner (Labyrinthodontia) 58f., 79, 109
Laich *16*
Landpflanzen 26, *88*
Landreptilien 96
Landschnecken *43*
Lariosaurus 113
Lariosaurus balsamii *116*
Larven 18
Laubfarne *34/35*
Lebachia (Walchia) *72*
lebendes Fossil 121
Leguan 138, *139*
Lepidodendren 29f., 69, 74
Lepidophyten 29
Lepidoptera s. Schmetterlinge
Lepospondyli 53, *55*, 60, 79
Leptopterygius 170
Libellen 48
Limnoscelis *82*, 84
Lobenlinien *164*
Lungenfische (Dipnoi) 7, *50*, 77
Lurche s. Amphibien
Lycaenops *92/93*, 94
Lycopsida s. Bärlappe
Lyme Bay 168
Lyme Regis 168
Lystrosaurus 90, 122

Makrele *10*
Makrosporen 32
Mantell, G. 138, 142
Marattiales *32*, 33
Marsh, O. C. 11, *140/141*, 144f., 157, 178
Mastodonsaurier (Riesenpanzerlurche), Mastodonsaurus *104f.*, 106
Medicine Bow River 177, 186
Meerdrachen *169*
Meeresreptilien *166*
Meerkrokodile 166, 172, 211, 214
Megalosaurier, Megalosaurus 142, 147, 190, *224/225*
Meganeura (Riesenlibellen) *46/47*, 49, 76
Megazostrodon 161
Melanorosaurus 158, 183
Melonites multipora *24*
Mesosaurier *95*, 96
Mesozoikum (Erdmittelalter) 99, *132*, 148, 210
Metoposaurier 102
Microbrachis 54f., *56/57*
Microsauria s. Kleinsaurier
Mikrosporen 32
Mischoptera *48*
Mississippian 21, 41, 50
Mixosaurus *110*, 112f.
Molche 53
Monoclonius *144*, 253
Montana 144
Monument Valley *73*
Morganucodon 161, *162/163*
Morrison-Formation 178
Mosasaurier 212, 214
Moschops 89
Muraenosaurus *172*, 174
Museum of Natural History 177f., 239
Mutationen 11
Myosaurus 90
Mystriosaurus 168

Nacktfarne (Psilophyten) 26
Nadelbäume 100
Nahrungskette *42*, 84, *88*
Neotenie 106, 108
New Red Sandstone 72
Nilkrokodil *131*, 220
Nilpferd 178
Nothosaurier 113, *116*

Ohr *15*
ökologische Katastrophe 258
ökologische Pyramide *199*
Ophiacodon 85, *86*
Ophthalmosaurus 170
Ordovizium 39
Ornithischier 147, *148*, 193, 227
Ornitholestes 191, *192*
Ornithomimus (Struthiomimus) 245f.
Ornithopoden 227
Ornithosuchus *155*, 186
Oviraptor s. Zölurosaurier
Owen, R. 143, 147

Pachycephalosaurus 251, *252*
Pachypleurosaurus 113, *117*
Palaeodictyoptera s. Urflügler
Palaeoscincus 252
Paläozoikum (Erdaltertum) 99
Palemydops 90
Palmfarne (Zykadeen) 174
Pangäa 21, 68f., 164, 207

Paralepidotus ornatus *100*
Parasaurolophus 249
Pareiasaurus *84,* 85
Pelykosaurier 85, *86f.,* 88
Pennsylvanian 21, *36,* 37, 41, 45, 48, 50, 60f., 67
Pentaceratops 253
Perm 67, 75, 79f., 84, 88f., 153
Pflanzenfossilien *25*
Phobosuchus s. Deinosuchus
Phytosaurier *126,* 130
Pinealauge (Scheitelauge) *6,* 11, *102*
Pipakröte (Wabenkröte) 19
Placodus *110*
Plakodonten 116
Platecarpus 215
Plateosaurier *158/159, 160,* 161
Plesiosaurier 113, *172,* 173f., 211f.
Pleuracanthodii 50
Pleuracanthus *50/51*
Pliosaurier 174, 211
Plot, R. 137
Polacanthus *229*
Poleiskappen 67, 164
Portheus s. Xiphactinus
Pronorites *42*
Prosauropoden 157, 183
Proterosaurier, Proterosaurus 96, *97,* 116
Protoceratops *235,* 236, *236/237,* 253
Protoceratopsei *234*
Protopterus annectens *7*
Protosuchus *130*
Protostega *216*
Protozoen 41
Psaronius *32*
Pseudosuchier (Pseudosuchia), Pseudosuchus 151ff., *155*
Psilophyten s. Nacktfarne
Psittakosaurier, Psittacosaurus 237f.
Pteranodonten *214/215, 217,* 218
Pteridophyten s. Farnpflanzen
Pteridospermen 37
Pterodactylida 204
Pterodactylus (Flugfinger) 117, 204
Pterodactylus antiquus *204*
Pteroplax s. Eogyrinus
Pteropsida s. Farne
Pterosaurier (Flugsaurier) 169, 200, *202/203,* 204, *214/215,* 217, *218,* 228

Quastenflosser (Krossopterygier) 77
Querzahnmolch *107*

Rana temporaria s. Grasfrosch
Red Beds 80, 82, 96
Reptilien 61, 79, 89, 164
Reptilienei 62
Reptilienentwicklung *128/129*
Reptilienschwanz *113*
Rhachitomamphibien, Rhachitomi 60f., 80
Rhamphorhynchida (Schwanzflugsaurier) 201
Rhamphorhynchus *202/203,* 201, 204
Rhipidistier *7,* 12
Rhynchozephalen 121
Riesenlibellen s. Meganeura
Riesenpanzerlurche s. Mastodonsaurier
Rocky Mountains 207
Rückenkamm 86, 196
Rudisten *216*
Russell, D. 257
Rutiodon *126*

Salamander 53
Saltoposuchus *146,* 151f.
Samenfarn *27,* 33, *34/35*
Saportea *74*
Sarcosuchus 231
Säugetiere 111, 161, 164
Säugetierohr 16
Saurischier 147, *148,* 154
Saurolophus 249
Sauropoden 157, 178, 183, 187
Sauropodenei *178*
Scelidosaurus *196*
Schachtelhalm (Equisetum) 31
Schachtelhalme (Equisetatae, Sphenopsida) 31, 72, 174
Schachtelhalmgewächse *20*
Scheitelauge s. Pinealauge
Schildkröte *64,* 216
Schlangen 14
Schlangenlurche (Aistopoden) 54
Schmetterlinge (Lepidoptera) 76
Schreckensechse 143
Schuppenbaum *27*
Schuppenbäume *20, 34/35*
Schwanzflosse *113*
Schwanzflugsaurier s. Rhamphorhynchida
Schwanzlurche 53
Schwimmfüße 96, 246
Scleromochlus *157*
Scolosaurus 252
Scylacosaurus *94*
Seedrachen 113, 211
Seeschildkröten *173*
Seitenlinienorgan *10*
Serengeti *13*
Seymouria 82
Seymouria baylorensis *81*
Seymouriamorpha *52,* 62, 82
Siegelbaum *28f.*
Siegelbäume (Sigillarien) 28, *34/35, 58/59, 69,* 74
Sigillarien s. Siegelbäume
Silberfischchen *45*
Skorpione 44
Solnhofen 204
Sphaenopteris *25*
Sphenodon punctatus s. Tuatera
Sphenopsida s. Schachtelhalme
Spinnen 44

Spinnentiere 44
Spinosaurus *232f.*
Spitzhörnchen (Tupaja) *14*
Sporophyten 26, 33
Spritzloch 16
Stabilisatoren 113
Stachelhäuter *20*
Stegocephalus 6
Stegoceras 251
Stegosaurier, Stegosaurus *194/195,* 196, *197*
Stegozephalen 58
Steinkohle *38*
Steneosaurus *167,* 168
Stenodictya 48, *49*
Stenopterygius *168*
Stereospondylus *102,* 103, *109*
Sternberg, Ch. 246
Stigmarien 29
Stretosaurus 174
Struthiomimus s. Ornithomimus
Styracosaurus 253

Tanystropheus 116f., 118/119
Tarbosaurus *244*
Tausendfüßer 44
Teleosaurier 166
Temnospondyli 60
Temperaturregelung 86
Ténéré *230,* 231
Tethys *154*
Tetrapoden (Vierfüßer) *12,* 14, *45,* 48, 60
Texasdrache s. Dimetrodon
Thecodontia s. Thekodontier
Thekodontier (Thecodontia, Grubenzähner) *127,* 130, 148, 150, *151*
Therapsiden 89, 91, 96, 122, 161
Therodonten 196
Theropoden 155, 157
Therozephalen *94*
Thescelosaurus *148*
Thinopus antiquus *11*
Tigersalamander (Amblystoma tigrinum) 108
Titanosuchus 89, *90*
Torosaurus 253
Trachodon 249
Trematosaurus *106*
Treuil-Steinbruch *28/29*
Trias 99, 103, 106, 122, 151, 158f., 161, 186
Triceratops 252f., *254/255*
Tridentinosaurus *96*
Trigonocarpus bernardi *32*
Trilobiten (Dreilappkrebse) 41, 76, *88*
Trinacromerum 212
Trommelfell 16
Tuatera (Brückenechse, Sphenodon punctatus) *121*
Tucker, W. 257
Tupaja s. Spitzhörnchen
Turrilites *216*
Tylosaurier, Tylosaurus *214/215*
Tyrannosaurier, Tyrannosaurus 155, 238, 240, *241, 242/243*

Uranosaurier 231
Urflügler (Palaeodictyoptera) 48
Urocordylus 53, *55, 56/57*
Uronemus lobatus *50*
Urvogel s. Archäopteryx
Utah 144f.

Varanus griseus *83*
Versteinerter Wald von Arizona *101f.*
versteinerte Wurzeln *30*
Victoriapark 31
Vögel 14, 204
Voltzia 75, 100

Waagenoceras *76*
Wabenkröte s. Pipakröte
Walchia s. Lebachia
Wale (Cetacea) 14, 112
Wassermolch 53
Wealden 222, 228
Weichtiere 43, 76
Wirbeltiere 5
Wortman, J. 186
Wüste Gobi 235, *238*
Wyoming 144, 157, 177

Xiphactinus (Portheus) 210, *211*

Ymers 5
Youngina 119, *120*

Zeresiosaurier *114/115*
Zölurosaurier, Zölurosaurus (Oviraptor) 155, 191, *237*
Zweiflügler (Diptera) 76
Zykadeen s. Palmfarne

Die Geheimnisse der Urzeit

Band 1:
Der Ursprung des Lebens

Band 2:
Das Leben im Meer

Band 3:
Amphibien und Riesensaurier

Band 4:
Säugetiere und Urmenschen

Band 5:
Die Morgendämmerung der Kultur

Die Geheimnisse der Urzeit:

SÄUGETIERE UND URMENSCHEN

Die Geheimnisse
der Urzeit

Band 4

SÄUGETIERE UND URMENSCHEN

Fackelverlag

Die Geheimnisse der Urzeit

Band 1: Der Ursprung des Lebens
Band 2: Das Leben im Meer
Band 3: Amphibien und Riesensaurier
Band 4: Säugetiere und Urmenschen
Band 5: Die Morgendämmerung der Kultur

Die Originalausgabe dieses in mehreren Sprachen veröffentlichten Werkes umfaßt 20 Bände und erscheint unter dem Titel
Il pianeta dell'uomo
im Verlag Arnoldo Mondadori Editore, Verona.
Herausgeber: Mario Andreose
Redaktion und Bildbeschaffung:
Margherita Forestan und Fabrizio Tolu
Graphische Gestaltung: Maurizio Turazzi
Layout: Franco Morati

Originaltexte dieses Bandes von Guido Ruggieri und Giorgio P. Panini.
Deutsche Übersetzung von
Inge Nissen und Günter Seib unter Mitwirkung von Dagmar Aust.

Sonderausgabe für den Fackelverlag, Stuttgart

Alle Rechte vorbehalten.
Nachdruck, auch auszugsweise, nicht gestattet.
© 1975 Europa Verlag
Deutsche Übersetzung © 1978
Bibliographisches Institut AG, Zürich
Satz: Bibliographisches Institut AG, Mannheim, und Beltz-Druck, Hemsbach
(Photosatz Linotron 505 TC)
Gesamtherstellung:
Arnoldo Mondadori Editore, Verona
Printed in Italy

Inhalt

Legende und Wirklichkeit 5

Charakteristische Unterscheidungsmerkmale der Säugetiere 19

Ursprung und Evolution der Säugetiere 33

Die explosive Vermehrung der Säugetiere zu Beginn des Känozoikums 51

Die Evolution des Pferdes und des Elefanten 73

Die Säugetiere im Oligozän und Miozän 93

Das Pliozän und das Pleistozän 111

Der Mensch im System der Tiere 133

Eine Arbeitshypothese 141

Die Verwandtschaft des Menschen 157

Ein Familienporträt vor dem Spiegel 175

Die Anfänge: Ein Album voll fossiler Primaten 183

Die Menschenaffen des Südens 191

Das Leben der frühen Hominiden 197

Der Mensch in der Eiszeit 215

Homo sapiens 237

Der Mensch und sein Verhältnis zur Natur 247

Bibliographie 261

Bildquellennachweis 262

Register 263

Legende und Wirklichkeit

Die »Donnerpferde« der Siouxindianer

Als die Indianer in weit zurückliegenden Zeiten in den Savannen des amerikanischen Westens auf Büffeljagd gingen, erzählte man sich bei den Siouxindianern von legendären „Donnerpferden", die immer dann, wenn Gewitterstürme tobten, auf die Erde herabkämen und wie die Indianer den Büffel jagten. Während der Regen niederprasselte und Blitze über den Himmel zuckten, würden diese seltsamen Lebewesen unter ihren gewaltigen Hufen selbst den mächtigsten Büffelkopf zertreten. Wenn ihre Zeit erfüllt sei, stürben sie wie jedes andere Tier. Doch bleichten auf den kahlen Hügelhängen ihre Gebeine, um die Menschen daran zu erinnern, daß sie dagewesen waren.

Viele Sioux haben diese Knochen mit eigenen Augen gesehen. In Süddakota und Nebraska gibt es weite Hochflächen aus kahlem Ton- und Mergelboden, die sog. *Badlands.* Dort wäscht das Regenwasser ständig kahle Höhenzüge aus, deren Gestalt sich nach jedem Gewitterregen ändert. In dieser wilden Landschaft entdeckten die Indianer riesige, gebogene Knochen, die an den Hängen zutage getreten waren. Es waren die Überbleibsel ihrer „Donnerpferde".

Die in ihrer Ödheit gleichwohl reizvolle Landschaft im Badlands National Monument (Süddakota), hier von den gelben Hügeln her gesehen. Die Badlands, die aus den Ablagerungen auf dem Boden prähistorischer Seen hervorgegangen sind, bestehen hauptsächlich aus Tonschichten, in denen das Regenwasser charakteristische Erosionserscheinungen hervorgerufen hat. In diesen Schichten fanden die Indianer die Überreste der „Donnerpferde", die vor rund 40 Millionen Jahren lebten.

Die „Donnerpferde" der Sioux hat es tatsächlich gegeben. Ihre Existenz allerdings reicht fast vierzig Millionen Jahre zurück. In endlosen Herden hatten sie das Gras und die jungen Triebe der Bäume abgeweidet, die sich im klaren Wasser der riesigen Seen spiegelten. Wenn sie verendeten, versanken sie im Schlamm der Flüsse und Seen, der heute als Ton und Mergel die Badlands bildet, deren malerische, zerklüftete Öde an die Stelle der Seen und Wälder dieser weit zurückliegenden Epoche getreten ist. Die starke Erosion, die jeder Gewitterregen in dieser Landschaft verursacht, bringt immer wieder fossile Knochen ans Tageslicht, von denen zuvor keine Spur zu sehen war.

Die Titanotheriiden

Das größte „Donnerpferd" war das *Brontotherium.* Es erhielt seinen griechischen Namen, der wörtlich etwa „Donnertier" bedeutet, in Anspielung auf die Legende von den Donnerpferden von dem berühmten Paläontologen Othniel Charles Marsh, der den ganzen amerikani-

schen Westen nach Spuren von Dinosauriern durchforscht hatte und dabei auch auf die Säugetierfossilien gestoßen war.

1875 grub Marsh Skelette von „Donnerpferden" genau in dem Gebiet aus, in dem sich die Sioux niedergelassen hatten. Er hatte bei seinen Arbeiten keine Schwierigkeiten mit den Indianern, obwohl damals die Beziehungen zwischen dem weißen Mann und den Indianern besonders angespannt waren. Ganz im Gegenteil begegneten die Indianer Marsh mit großem Respekt und verliehen ihm sogar den Ehrentitel „Mann, der nach Knochen gräbt". Weitere Überreste von „Donnerpferden" wurden von Edward Drinker Cope, dem Konkurrenten Marshs, gefunden, der, wie wir im voraufgehenden Band dieser Serie erfahren haben, ebenfalls im Gebiet der Rocky Mountains nach den riesigen Lebewesen der Vergangenheit suchte.

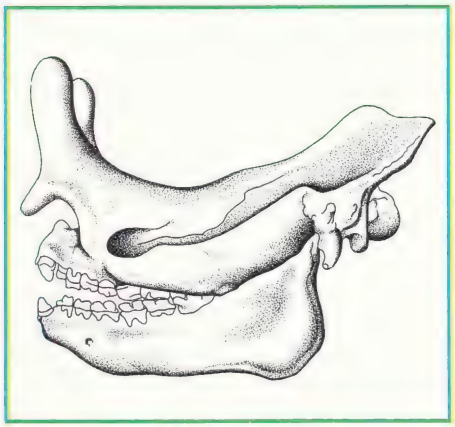
Heute reiten keine Sioux mehr in Dakota und Nebraska, und kein Mensch spricht mehr in den Badlands von den sagenhaften Pferden. Nichtsdestoweniger sind diese den Paläontologen bis in alle Einzelheiten bekannt, die sie als Mitglieder der Familie der *Titanotheriiden* klassifizieren. Diese sind ziemlich nahe mit dem Pferd verwandt, auch

Die Kälte und der Schnee machten sowohl den Indianern als auch den Büffeln große Schwierigkeiten. Die abgebildete Jagdszene ist die Wiedergabe eines „Winterjagd" genannten Gemäldes des amerikanischen Schriftstellers und Malers Georges Catlin (1796–1872).

wenn sie im äußeren Erscheinungsbild bestimmte stark abweichende Merkmale zeigten.

Der Koloß der Gruppe, das Brontotherium, war am Widerrist 2,40 m hoch und bewegte sich auf säulenartigen Beinen, ähnlich wie der heutige Elefant. Es war gedrungen und schwerfällig gebaut, und sein mächtiger Rücken sah gekrümmt aus, da die Schultern höher waren als die Hüftregion. Der Kopf des Tiers ähnelte dem des heutigen Nashorns, wenn er auch flacher und am Jochbein etwas breiter war. Seine kleinen Äuglein, die am Kopf eng beieinander lagen, gaben ihm ein eigenartig primitives, einerseits dümmliches, andererseits aber auch wildes Aussehen.

Die charakteristischen „Hörner", welche den Schädel nach vorn verlängerten, waren abgeplattete knochige Auswüchse, die in ziemlich weitem Winkel voneinander abstanden und vermutlich wie bei der Giraffe nur von Haut bedeckt waren. Bei den Männchen waren sie sehr viel stärker entwickelt als bei den Weibchen. Vermutlich werden sie den Männchen als Waffe zur Verteidigung der Herde gegen Raubtiere oder im Rivalenkampf um die Eroberung der Weibchen gedient haben.

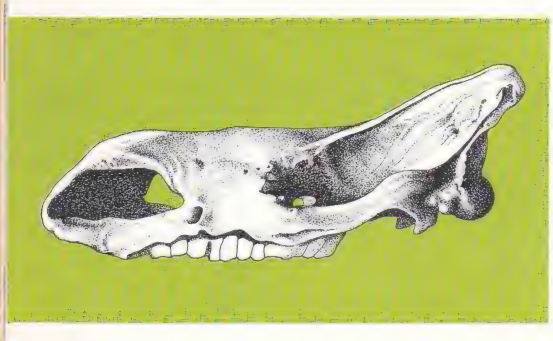


Oben: Der Schädel eines Bronthotheriums. Die beiden Knochenauswüchse auf der Schnauzenspitze stellen lediglich eine Verlängerung und Verzweigung des Nasenbeins dar.

Rechts: Der Kampf zweier Titanotheriiden (Brontotheriiden) um ein Weibchen. Das mehr als nashorngroße Brontotherium war in Nordamerika während des frühen Oligozäns weit verbreitet. Seine entferntesten Vorfahren aus dem Eozän hatten nur ungefähr die Größe eines Schafs.

Allerlei Mythisches

Im vorigen Band war von mehreren Entdeckungen die Rede, die der Mensch in bezug auf die riesigen Reptilien des Mesozoikums machte. Diese Funde hatten mit wenigen Ausnahmen nichts Märchenhaftes an sich, da sie erst vor relativ kurzer Zeit erfolgten, zu einer Zeit, in der die Wissenschaft von den Fossilien bereits beachtliche Fortschritte gemacht hatte. Im Falle der riesigen prähistorischen Säuger war das jedoch ganz anders. Ihre Überreste sind in Schichten zu finden, die, geologisch gesehen, jung und sogar sehr jung sind. In der Regel bedeutet dies, daß sie gut erhalten und ziemlich leicht zugänglich sind. Dadurch sind solche Fossilien dem Menschen auch schon in der Antike aufgefallen. Da er jedoch keine Chance hatte, sie richtig zu interpretieren, umwob er sie mit allerlei mythischen Vorstellungen.



Der Schädel eines prähistorischen Nashorns, der im vierzehnten Jahrhundert bei Klagenfurt in Österreich gefunden wurde, wo er noch immer aufbewahrt wird. Diese Entdeckung führte zum Entstehen einer berühmten Drachensage.

Im antiken Griechenland z. B. fanden die Spartaner unweit von Sparta etwas, das sie für die Gebeine des sagenhaften Helden Orest hielten. Seltsamerweise jedoch war dieses Skelett ca. 5 m lang. Weiterhin wurde auf einer Insel in der Ägäis das angebliche Skelett des Ajaxsohnes gefunden, der mysteriöserweise ebenfalls riesig (fast 7 m lang) gewesen zu sein schien. Für uns heute besteht überhaupt kein Zweifel daran, daß es sich bei diesen Funden um die Überreste von Säugetieren handelt, und zwar vermutlich von Elefanten, deren Überreste in den Mittelmeergebieten reichlich vorkommen.

In seiner prunkvollen Villa auf Capri bewahrte der römische Kaiser Augustus sorgsam die Gebeine von Wesen auf, die nach seiner Vorstellung Riesen waren. In Wirklichkeit handelte es sich dabei jedoch um die Knochen von Elefanten und Flußpferden.

Später – besonders im Mittelalter und bis fast in unsere Zeit – gaben sich die Menschen nicht mehr damit zufrieden, von Riesen zu phantasieren. Man erzählte sich vielmehr spannende Geschichten von Drachen, Einhörnern und Greifen und berief sich dabei gelegentlich auf echte Schädel und Knochen von den verschiedensten Tieren der Vorzeit. Besonders sagenumwoben waren die Alpen und die deutschen Mittelgebirge. Man wußte von Drachen und von geflügelten Schlangen mit Menschengesichtern zu berichten, von Ungeheuern mit Reptilienkörper und Tigerkopf, die in Felshöhlen der Gebirge gehaust hätten.

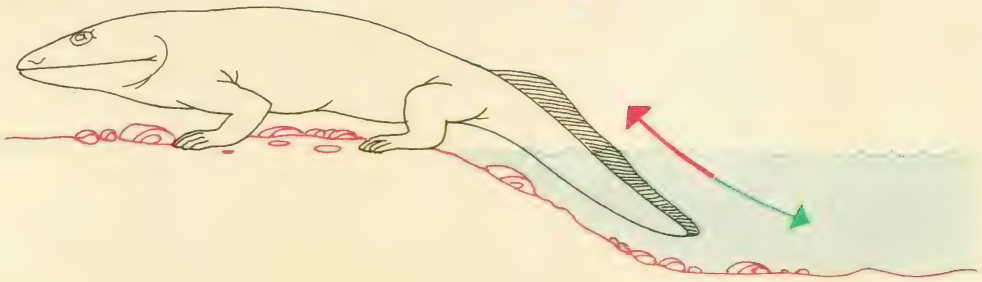
Derlei phantastische Geschichten rankten sich u. a. um die zufälligen Schädel- und Skelettfunde von Höhlenbären in Felshöhlen (der von den prähistorischen Menschen intensiv bejagte Höhlenbär ist erst in relativ junger Zeit ausgestorben). – Im 14. Jahrhundert fand man bei Klagenfurt in Österreich den Schädel eines riesigen fossilen Nashorns. Dies führte zum Entstehen eines der berühmtesten Drachenmärchen. Im Jahre 1590 wurde der Schädel als Vorlage für ein Drachendenkmal benutzt, das heute noch besteht.

Warme Säuger, kalte Echsen

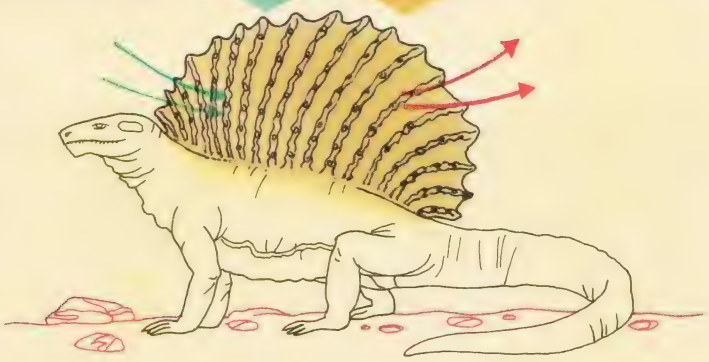
In den folgenden Kapiteln werden wir die Geschichte der Säugetiere chronologisch verfolgen können. Das Bild, das wir zeichnen wollen, soll so vollständig sein, wie dies nach unserem heutigen Wissen möglich ist. Beginnen werden wir mit der weit zurückliegenden Periode, in der sich die Säuger aus den Reptilien entwickelt haben, einschließlich derjenigen Phase, die sich im Schatten der Dinosaurier abgespielt hat.

Zunächst müssen wir jedoch diejenigen Merkmale aufzählen, nach denen das Säugetier von allen anderen vierfüßigen Landwirbeltieren (Tetrapoden) unterschieden und getrennt werden kann. Einen eklatanten Unterschied erkennen wir sozusagen „handgreiflich", wenn wir erst

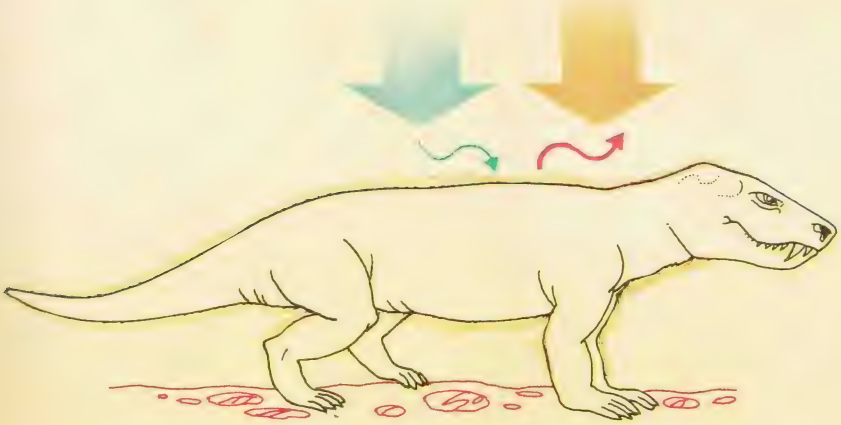
Die primitiven Amphibien (wie Ichthyostega) waren nicht in der Lage, ihre Körpertemperatur zu steuern. Sie mußten im Wasser Schutz vor der Hitze des Tages oder der nächtlichen Kälte suchen.



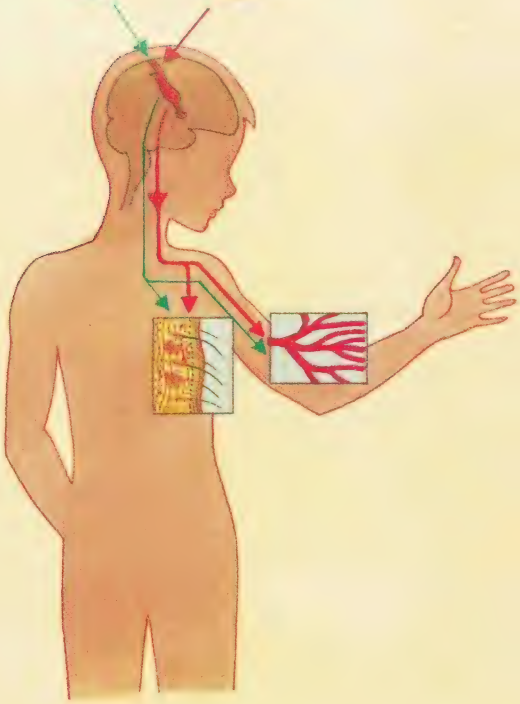
Bei den primitiven Reptilien (wie dem Edaphosaurus) war die Regulierung der Körpertemperatur durch die Ausbildung eines Rückenkamms verbessert. Dieser ermöglichte je nach Bedarf eine schnellere Erwärmung oder Abkühlung des Körpers durch entsprechende Vergrößerung der Körperoberfläche.



Der Cynognathus, ein Reptil mit Merkmalen, die denen der Säugetiere angenähert waren, konnte seine Körpertemperatur bereits in einem gewissen Umfang steuern, nicht zuletzt vielleicht auch durch das Vorhandensein eines flaumigen Haarkleids.



Lediglich die Säugetiere verfügen über eine vollständige Homoiothermie. Diese basiert auf der Spezialisierung bestimmter Mechanismen, darunter besonders das Nervensystem, der Blutkreislauf und die Ausbildung verschiedener Hautschichten.



Die Entwicklung der Steuerung der Körpertemperatur bei den Vierfüßern, angefangen von den primitiven Amphibien des Devons (Ichthyostega) über die Pelykosaurier des Perms (Edaphosaurus) und die Säugetierreptilien (Cynognathus) der Trias bis hin zum Menschen. Diese Evolution umfaßt einen Zeitraum von 345 Millionen Jahren.

Rechte Seite: Das Haarkleid über der Haut ist für Säuger von größter Wichtigkeit, da diese Bedeckung zur Aufrechterhaltung der Körpertemperatur beiträgt und darüber hinaus einen wirksamen Regenschutz darstellt. Auf dem Foto ein Eisbär (Ursus maritimus).

Unten: Da sie primitiver als Säuger sind, haben die Reptilien kein Steuerungssystem zur Regulierung ihrer Körpertemperatur. Die Reptilienhaut, die keine Schweißdrüsen besitzt, ist mit Schuppen bedeckt, die die Schweißabsonderung und -verdunstung verhindern. Auf dem Foto eine Schmuckbaumnatter (Chrysopelea).

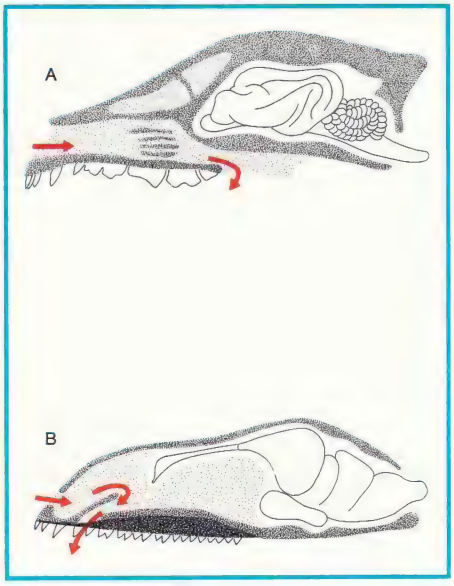
ein Kätzchen und dann eine Eidechse anfassen. Selbst bei geschlossenen Augen wüßten wir sofort zu sagen, welches das Kätzchen und welches die Eidechse ist: Ihre Schuppen fühlen sich kalt an, während das Katzenfell Wärme ausstrahlt. So extrem vereinfacht diese Unterscheidung ist, unterstreicht sie doch zwei der typischsten Merkmale des Säugetiers: die gleichbleibende Körpertemperatur und das Vorhandensein eines Fells.

Es besteht kein Zweifel, daß das Säugetier ein aktives, in der Regel sogar höchst aktives Lebewesen ist. Seine Bewegungen sind zwar unter Umständen langsam, doch zeigt es immer (außer in der Ruhephase) eine ausgeprägte Aktivität. Ein Reptil dagegen, das zwar manchmal recht flink sein kann, ist niemals im gleichen Ausmaß wie ein Säugetier anhaltend aktiv. Man beobachte einmal eine Eidechse an einem Feldrain. Bisweilen bewegt sie sich so rasch, daß wir sie mit den Augen gar nicht verfolgen können. Die meiste Zeit ihres Lebens wird sie jedoch in einer Felsspalte in völliger Unbeweglichkeit zubringen.

Das Merkmal des Säugetiers, das es befähigt, ständig und unter den unterschiedlichsten Umständen Bewegungsenergie zu entwickeln, steht in unmittelbarer Beziehung zu seiner inneren Körperwärme, genauer gesagt: zu seiner Fähigkeit, diese Wärme zu erhalten. Wir nennen diese Eigenschaft Homoiothermie.

Der Erwerb der Homoiothermie

Gewöhnlich heißt es, daß die Schlange ein Kaltblüter und das Säugetier ein Warmblüter sei. Diese Aussage ist jedoch nicht präzis. An manchen Tagen und zu bestimmten Stunden, wenn es sehr heiß ist, kann die Körpertemperatur eines Reptils sogar höher sein als die eines Vogels, der ja ein warmblütiges Lebewesen ist. Wenn es jedoch sehr kalt ist, fällt die Körpertemperatur des gleichen Reptils so weit ab, daß es völlig träge wird. Ein Säugetier jedoch ist in der Lage, den wechselnden Einflüssen der Außenwelt dadurch zu widerstehen, daß es seine Körpertemperatur



ständig auf einem ziemlich hohen Niveau hält. Der Vorteil einer solchen Körperbeschaffenheit liegt auf der Hand: Das Säugetier ist nie zur Unbeweglichkeit verurteilt und daher immer in der Lage, auf Futtersuche zu gehen oder einem etwaigen Räuber zu entkommen.

Die ältesten Wirbeltiere konnten ihre Körpertemperatur nur wenig steuern. Nichtsdestoweniger zeigte sich bei bestimmten Gruppen der Vierfüßer bereits früh eine Tendenz zur Homoiothermie, sobald sie sich aus dem Schlamm der Teiche auf das Festland wagten. Diese Tendenz entwickelte sich dann in einer unendlich langen Zeit allmählich bis zur vollen Steuerungsmöglichkeit. Gegen Ende des Devons, also vor rund 350 Millionen Jahren, erwärmten die *Ichthyostegen* ihren trägen Leib um ein geringes in der milden Morgen- und Abendluft zwischen den hohen Schachtelhalmen am Rande der Lagunen, sie wichen jedoch ins Wasser aus, um der größten Tageshitze und der ärgsten Kälte der Nacht zu entgehen. Indem sie so lebten, blieb ihre Körpertemperatur ziemlich niedrig, und doch bahnte diese begrenzte Nutzung der Umweltwärme den Weg zur späteren Entwicklung.

Siebzig Millionen Jahre später nahmen die riesigen *Pelykosaurier* mit Hilfe der hohen Zackenkämme auf ihrem Rücken Wärme auf oder gaben sie ab. Noch später entwickelte sich aus ihren Nachkommen das Säugetier und erwarb die echte *Homoiothermie.* Die Herausbildung dieser Fähigkeit fand jedoch mit dem Aufkommen der ersten Säuger nicht ihr Ende, da auch noch in späteren Zeitaltern die Vögel und in gewissem Umfang auch die Dinosaurier homoiotherm waren.

Der Mechanismus der Homoiothermie

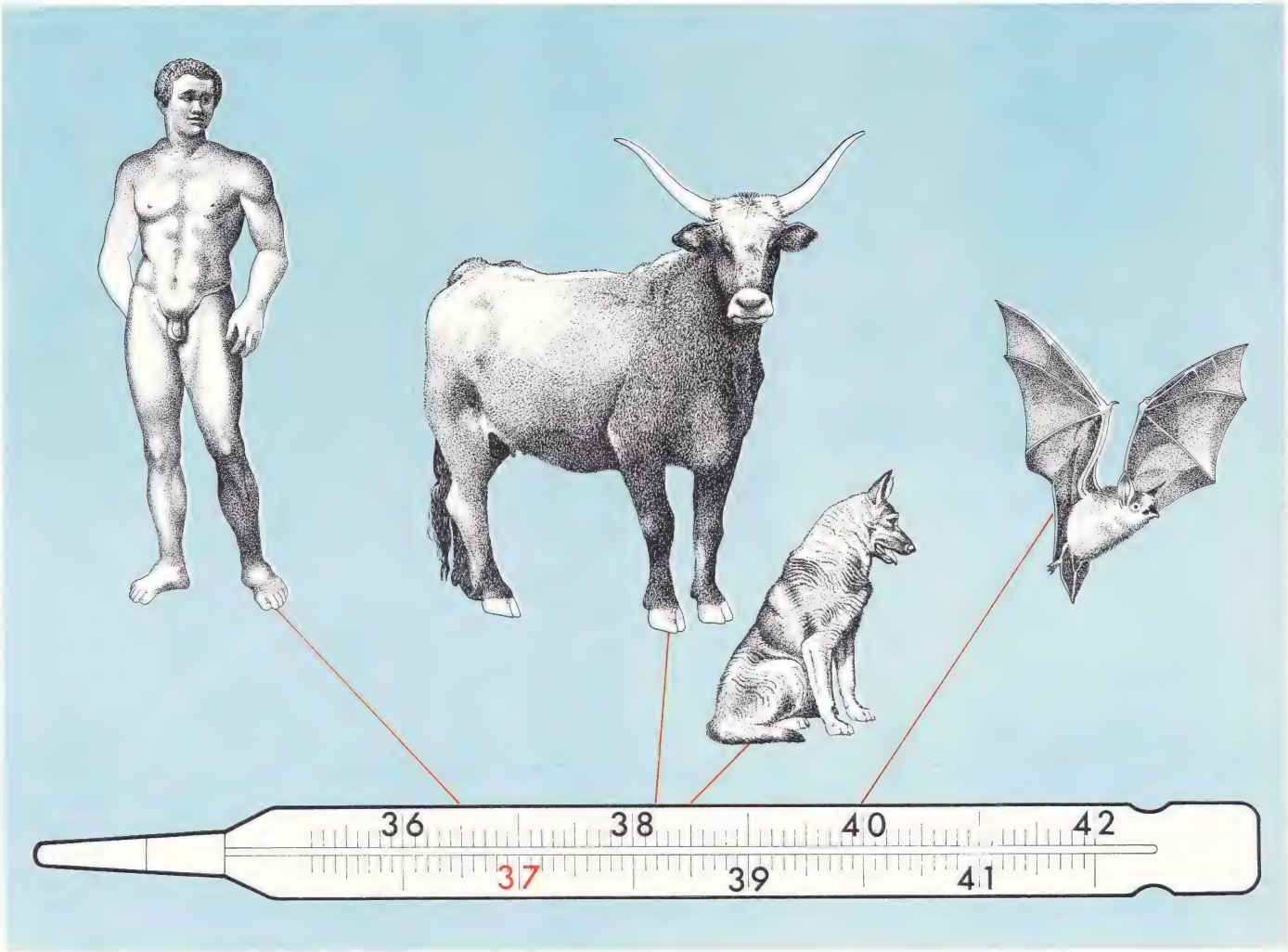
Je höherentwickelt ein Säugetier ist, desto perfekter ist seine *Temperatursteuerung.* Das Säugetier hat innere Mechanismen entwickelt, die auf äußerliche Wärme- oder Kältereize hin in einem entsprechend spezialisierten Hirnzentrum bestimmte Reaktionen auslösen. Solche Reaktionen kann man leicht an sich selbst wahrnehmen (Erröten, Blaßwerden, Schwitzen, Schüttelfrost).

Viele Säugetiere (so auch der Mensch) haben *Schweißdrüsen,* unzählige winzige, tief in der Haut liegende Organe, die, wenn nötig, rasch Feuchtigkeit abgeben und so infolge der dadurch bewirkten Oberflächenverdunstung die Oberflächentemperatur senken. Die winzigen Blutkapillaren, die in der Haut ein kompliziertes Netz bilden, können sich zusammenziehen oder erweitern und auf diese Weise Wärme stauen bzw. abgeben.

Bevor sie jedoch derart komplizierte Mechanismen bis zur Vollendung entwickelte, machte die Natur eine „grundlegende Entdeckung": das äußere *Haarkleid* des Körpers, das eine Wärmeisolierung des Tierkörpers gegenüber seiner Umgebung bot. Heute haben nur die Säugetiere ein solches Haarkleid, in grauer Vorzeit jedoch unternahmen bereits einige Reptilien den Versuch, sich ein isolierendes Haarkleid zuzulegen. Dies gilt besonders für die säugetierähnlichen Reptilien, die im frühen Mesozoikum die Karrusteppe bevölkerten. Aus einem ihrer Stämme entwickelten sich die Säugetiere. Es ist, nebenbei gesagt, interessant festzustellen, daß die Vögel viele Millionen Jahre später mit ihren Federn und Daunen zu denselben Ergebnissen kamen, die mit der Körperbehaarung erzielt worden waren.

Es ist ziemlich sicher, daß die frühen Säugetiere alle ein Haarkleid hatten. Glatte Haut (die zum Ausgleich jedoch sehr dick ist), wie wir sie bei den größeren Säugern wie dem Flußpferd und dem Elefanten

Oben: Längsschnitt durch den Hirnschädel eines Säugetiers (A) und eines Reptils (B). Im Gegensatz zu den Reptilien haben die Säugetiere Nasenmuscheln, deren Schleimhautbeschichtung die eingeatmete Luft (roter Pfeil) erwärmt und befeuchtet. Außerdem verfügen sie über einen langen zweiten Gaumen, der die Atemwege vom Mundraum abtrennt.



Die konstante Körpertemperatur bei einigen Säugetieren.

beobachten, ist das Ergebnis eines langen Evolutionsprozesses. Im polaren Klima haben die Säugetiere ein warmes Pelzkleid, wenn man auch Tiere findet, die sich in strengster Kälte nur mit nackter Haut wohl fühlen. Dies trifft für die Meeressäuger zu, bei denen das Pelzkleid auf eigentümliche Weise durch eine Speckschicht unter der Haut ersetzt wurde. Die Umwege und Verzweigungen der Evolution grenzen ans Wunderbare!

Homoiothermie und Atmung

Der ganze Wärmeschutz des Körpers und die Temperatursteuerung, über die die Säugetiere verfügen, wäre allerdings immer noch unzureichend, hätten sich nicht adäquate Lungen und ein bestimmter Atemrhythmus herausgebildet.

An dieser Stelle müssen wir uns in Erinnerung rufen, daß die tierische Wärme im wesentlichen durch die „Veratmung" der aufgenommenen Nahrungsstoffe geliefert wird. Durch diese *innere Oxydation,* d. h. durch Verbrennungsvorgänge in den Zellen, wird die notwendige Energie in Form von Wärme frei, wobei der über die Lunge eingeatmete Sauerstoff in den Körpergeweben in einer Reihe von Kettenreaktionen gegen Wasserdampf und Kohlendioxid ausgetauscht wird.

Diese Vorgänge sind wohlbekannt und ermöglichen es daher zu verstehen, daß die Säugetiere ohne intakte Lunge und einen wirkungsvollen Funktionsrhythmus der Atmungsorgane nicht in der Lage wären, die notwendige Wärme zu erzeugen, um ihre vollkommene Homoiothermie aufrechtzuerhalten.

Man beobachte einmal den Rhythmus der eigenen Atmung: Er ändert sich nicht einmal, wenn wir essen, obwohl wir mit vollem Mund kauen. Dies ist gar nicht so selbstverständlich, wenn wir an die verschiedenen Wirbeltierklassen, die es auf der Erde gibt, denken. Bei einem Amphibium z. B. oder einem Reptil geht die Luft, die durch die Nasenlöcher in den Körper hineingelangt, durch den vorderen Teil des

Mauls, so daß die Luftzufuhr zu den Lungen zeitweilig unterbrochen wird, wenn das Maul voll Nahrung ist.

Bei den Säugetieren wird dies dadurch vermieden, daß ein sog. *sekundärer Gaumen* vorhanden ist, der viel weiter hinten, im Rachen, endet und die Luft unmittelbar von den Nasenlöchern zur Luftröhre leitet. Dieser Entwicklungsfortschritt ist von größter Bedeutung, da das Atemholen jetzt beim Kauen weitergehen kann. Er ist auch beim Krokodil, einem hochentwickelten Reptil, realisiert, wenn auch auf etwas andere Art und Weise. Nicht vorhanden ist ein sekundärer Gaumen bei den Vögeln, deren Mundraum (ungeachtet ihrer Homoiothermie) immer noch eine reptilienartige Ausformung hat.

Nordamerikanische Säuger während des Oligozäns. Von links nach rechts: der Hoplophoneus, ein Säbelzahntiger; das Brontotherium, der damals größte amerikanische Landsäuger; der Protapirus, der erste echte Tapir; eine Herde von Mesohippus, dem ersten dreizehigen Pferd; der Hesperocyon, der einem heutigen Fuchs ähnelte; ganz rechts eine Gruppe von Poebrotherium, dem Vorfahr des Kamels.

Charakteristische Unterscheidungsmerkmale der Säugetiere

Vom Reptilienei zur Plazenta

Im vorhergehenden Band dieser Reihe haben wir im einzelnen beschrieben, wie das Reptilienei aufgebaut ist. Eine derart wunderbare Struktur trat bereits in Urzeiten auf, vielleicht schon im unteren Karbon, vor rund 350 bis 300 Millionen Jahren. Damit wurde es den Vierfüßern möglich, den allerersten Schritt zur Eroberung der Erde zu tun: sich vom Lebensraum Wasser zu emanzipieren.

Der Vogel erbte dann das Ei, das allerdings in beträchtlich abgewandelter Art bereits früher vom Säugetier erworben worden war, einer Abwandlung, die noch grundlegende Bedeutung für die spätere Entwicklung des Lebens und demzufolge für die Geschichte unseres ganzen Planeten haben sollte. Die Grundmerkmale des Eies blieben, doch wies es bei den Säugern – mit der begrenzten Ausnahme der Kloakentiere (die wir später noch erörtern wollen) – keine Schale mehr auf. Auch wurden die Eier nicht mehr „gelegt", sondern verblieben im Leib des Muttertiers und traten (bei den meisten Säugern) mit dem mütterlichen Organismus in enge Verbindung. Auf diese Weise bildete das keimende Leben in seinen Frühstadien zusammen mit dem Lebewesen, das es erzeugt hatte, eine Einheit, die erst wieder bei der Geburt gelöst wurde.

Dieses Phänomen setzt sich bei der überwältigenden Mehrheit aller Säugetiere (einschließlich des Menschen) in jeder neuen Generation fort. Zu verdanken ist es einem Übergangsorgan, der Plazenta, die sich zu einem frühen Zeitpunkt der Embryonalentwicklung ausbildet.

Die *Eizelle* (das Ei) steigt, sobald sie befruchtet worden ist, in die Gebärmutter ab und setzt sich an der Innenwand dieses Organs fest *(Einnistung, Nidation).* Hier schlägt es sozusagen Wurzeln, und durch seine Berührung bildet sich durch verschiedene Prozesse die *Plazenta (Mutterkuchen),* die den Blutaustausch zwischen Mutter und Embryo gewährleistet. Das winzige neue Lebewesen ist daher wie eine Pflanze, die aus ihren Wurzeln hervorwächst. Im Gegensatz zur Pflanze jedoch braucht es die von der Mutter empfangenen Substanzen nicht umzuwandeln, da es sie bereits in einer an seine Bedürfnisse angepaßten Form erhält.

Ein höchst bedeutsamer Unterschied zwischen den Säugetieren und den anderen Wirbeltieren besteht darin, daß alle Säugetiere (und nur diese) ihre Jungen mit ihrer Milch ernähren. Auf dem Foto ein Burchellzebra, das sein Fohlen säugt.

Plazentatiere, Beuteltiere und Kloakentiere

Oben: Ein Vogelembryo (links), verglichen mit dem Embryo eines Säugetiers (rechts). Der Säugetierembryo wird über eine Plazenta unmittelbar vom mütterlichen Organismus mit Nährstoffen versorgt, während der Vogelembryo auf den Nährstoffvorrat im Dotter angewiesen ist.

Rechte Seite: Auf der oberen Bildhälfte wird gezeigt, wie die Känguruhmutter ihrem Jungen bei der Geburt hilft, in den Brutbeutel zu kriechen und dann die Zitzen zu finden, indem sie dessen Bauch ableckt und damit eine „Speichelspur" legt, der das Kleine folgen kann. – Unten links sieht man ein Schaf kurz vor der Geburt eines Lamms, das der mütterlichen Fürsorge bedürfen wird, bevor es sich in der Welt allein zurechtfinden kann. – Unten rechts ist ein säugendes Schnabeltier zu sehen.

Diejenigen Säugetiere, die das Merkmal der vorgeburtlichen Ernährung des Embryos durch die Plazenta aufweisen, werden *Plazentatiere (Placentalia)* genannt. Sie bilden eine umfangreiche Gruppe, die etwa 94 Prozent aller gegenwärtig auf der Erde vorhandenen Säugetiere umfaßt. Das bei ihnen angelegte Plazentasystem ist offenbar viel besser als das Ernährungssystem, das dem Reptilien- oder Vogelembryo zu Gebote steht. Diesen stehen lediglich diejenigen Nährsubstanzen zur Verfügung, die von Anfang an im Ei vorhanden sind, d. h. der *Eidotter.*

Die Entwicklung des Reptilien- und Vogelembryos wird davon bestimmt, wieviel Dotter im Ei vorhanden ist, bei den Säugern mit Plazenta dagegen wird die Embryonalentwicklung von den Merkmalen des Muttertiers und von der Ausdehnungsfähigkeit der Gebärmutter bestimmt. Aus diesem Grund sind bei den Plazentatieren lange *Tragzeiten,* d. h. lange Phasen intrauterinen Lebens, möglich. Das reicht von einer zwanzigtägigen Tragzeit beim Hamster bis zu einer Tragzeit von elf Monaten beim Delphin und von 16 Monaten beim Pottwal (beim Elefanten kann sie sogar bis 22 Monate dauern).

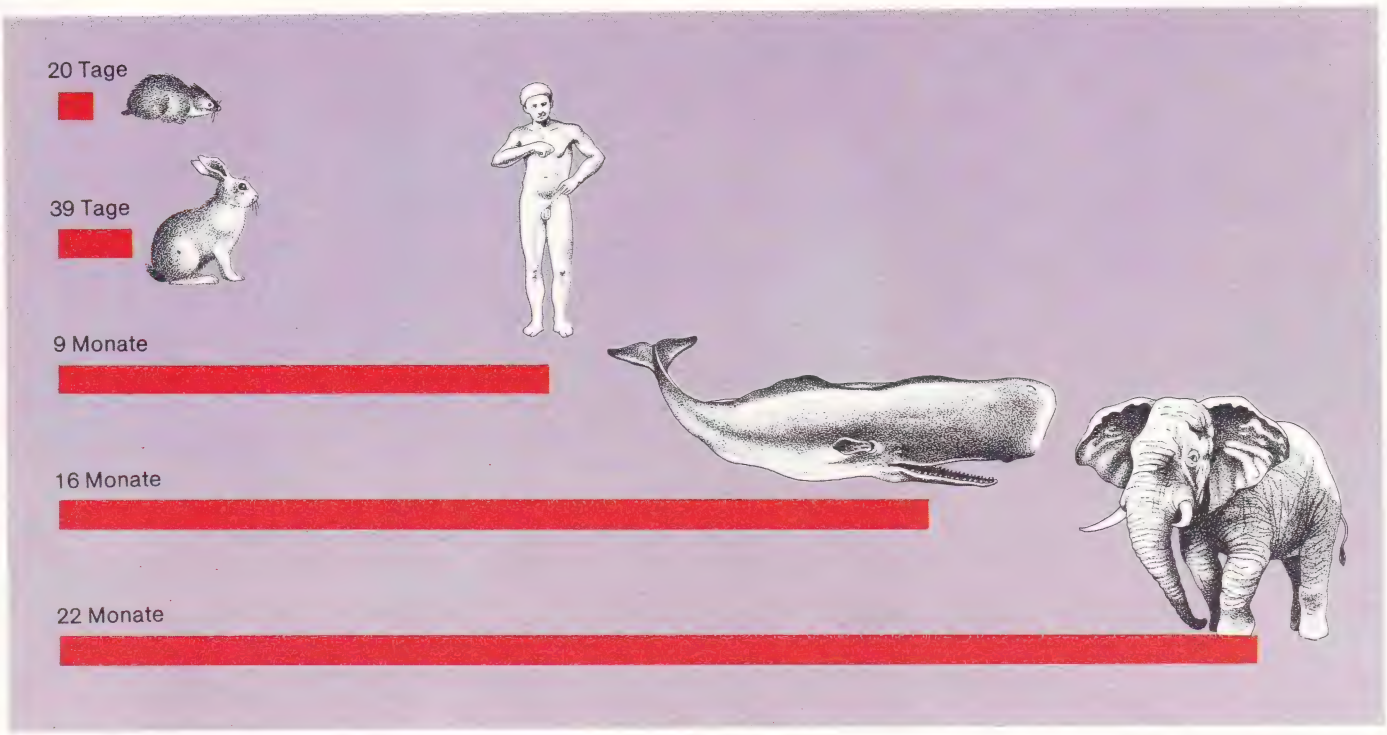
Ganz anders verhält es sich bei der zweiten Gruppe von Säugetieren, von der es nur sehr wenige Vertreter gibt und deren Vorkommen obendrein noch auf Australien und Amerika beschränkt ist. Diese Tiere entwickeln keine leistungsfähige Plazenta und gebären daher ihre Jungen schon zu einem Zeitpunkt, wenn sich diese noch in einer sehr gefährdeten Entwicklungsphase befinden. Es handelt sich um die Gruppe der *Beuteltiere (Marsupialia).* Bei ihnen hat das Weibchen in der Regel eine Bauchtasche *(Marsupium),* in der der Nachwuchs längere Zeit untergebracht und gesäugt wird. Typische Vertreter dieser eigenartigen Säugetiere sind das amerikanische *Opossum* und das australische *Känguruh.*

Eine Vorstellung davon, wie ungeheuer gefährdet die Beuteltierjungen zum Zeitpunkt der Geburt sind, vermittelt die Tatsache, daß der Nachwuchs des Riesenkänguruhs nur etwa 2,5 cm lang ist, wenn er zum

ersten Mal das Licht der Welt erblickt, und das, obwohl die Mutter aufrecht stehend bis zu 1,70 m groß sein kann!

Sowohl die Plazentatiere als auch die Beuteltiere sind *lebendgebärend (vivipar).* Neben diesen beiden Gruppen, die unter der Bezeichnung *Theria* zusammengefaßt werden, gibt es noch die bereits erwähnten eierlegenden *Kloakentiere (Monotremata),* die für sich allein die systematische Gruppe der *Prototheria* bilden. Zu dieser Gruppe gehören als einzige bekannte Vertreter das *Schnabeltier (Ornithorhynchus)* in Australien und die *Ameisenigel (Tachyglossidae)* auf Neuguinea. Es sind dies außergewöhnlich urtümliche Lebewesen: Sie sind *ovipar,* d. h., sie legen Eier wie Vögel und Reptilien. Außerdem sind sie zahnlos und besitzen einen Schnabel. Sie verfügen jedoch andererseits über Milchdrüsen, die ihre Milch über ein Drüsenfeld an die Körperoberfläche absondern, wo sie von den Jungen aufgeleckt wird. Bemerkenswert ist auch, daß die Ameisenigel ihre Jungen in einem besonderen Hautsack

Die Tragzeiten einiger Säugetiere. Wie aus der Zeichnung zu ersehen ist, steht die Tragzeit bei den Plazentatieren in Zusammenhang mit der jeweiligen Größe des erwachsenen Tiers.



säugen, in dem diese sechs bis acht Monate lang leben und in dem sie zuvor aus den Eiern ausgebrütet wurden.

Die Evolution des Gehirns

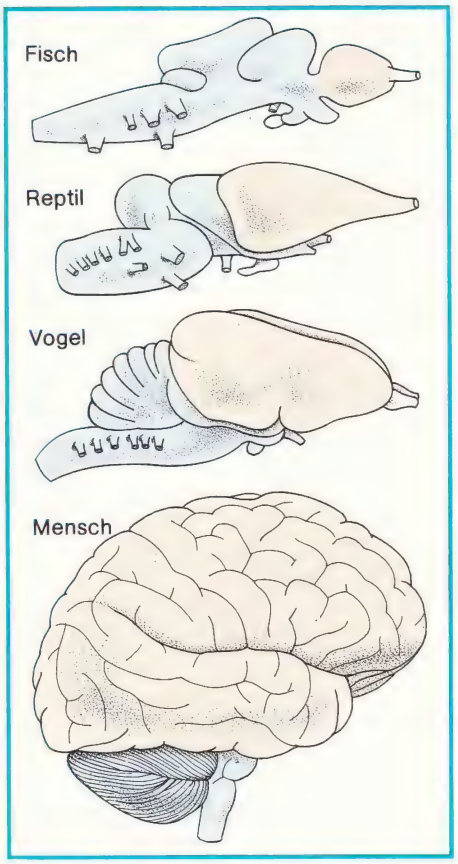
Es scheint, daß mit der langen Trächtigkeit der Plazentatiere eine äußerst wichtige Sache zusammenhängt: die stärkere Entwicklung des Gehirns vor der Geburt. Im Verlauf der Wochen und Monate, in denen das embryonale Lebewesen immer noch zusammengekauert im wärmenden Dunkel der mütterlichen Gebärmutter liegt, nimmt sein Gehirn allmählich die außergewöhnliche Komplexität an, die ihm Gedächtnis, Lernfähigkeit und besondere Verhaltensstrukturen verleiht. Infolgedes-

sen ist der Schädel des Säugetierfetus stark entwickelt und verleiht diesem ein leicht monströses Aussehen.

Das Wunderwerk *Gehirn* kam vor rund 500 Millionen Jahren in die Welt. Seither hat dieses Organ eine erstaunliche Entwicklung durchgemacht, die sich über die geologischen Zeitalter hinweg allmählich steigerte, bis sie in den jüngeren Erdzeitaltern während der Ausbreitung der Säugetiere über die Erde geradezu „explodierte".

Erinnern wir uns, daß wir in einem früheren Band das *Lanzettfischchen (Branchiostoma),* ein rezentes Chordatier, herangezogen haben, um eine Vorstellung davon zu gewinnen, wie der Urahn der Fische vor rund 500 Millionen Jahren ausgesehen haben muß. Bei diesem Lebewesen setzt sich das Rückenmark im Kopf fort, ohne dort seine Struktur zu verändern. Es weist lediglich ein verdicktes vorderes Ende auf. Ganz ähnlich müssen sich die ersten Gehirne im Dunkel der Vorzeit am vorderen Ende eines derartigen Lebewesens entwickelt haben.

Das menschliche Gehirn mit seinen verschiedenen anatomischen Abschnitten. Die beiden Hirnhälften, deren fortgeschrittene Entwicklung für den Menschen typisch ist, sind gut zu erkennen. Zwischen den Hirnhälften liegen die primitiveren Hirnabschnitte, die auch bei anderen Tieren entwickelt sind, und verlängern sich zum Rückenmark hin.



Die Entwicklung des Vorderhirns vom Fisch bis zum Menschen.

Da mehrere Gruppen der heutigen Wirbeltiere immer noch archaische Phasen der Gehirnstruktur aufweisen, sind wir in der Lage, anhand dieser Lebewesen den Verlauf zu verfolgen, den die evolutionäre *Entwicklung des Gehirns* genommen haben mag.

Bei den *Fischen* sind immer noch relativ einfach gebaute Organe am vorderen Ende des *Rückenmarks* angeordnet. Es gibt ein *Vorderhirn,* das mit dem Riechorgan in Verbindung steht und das die Fische fast ausschließlich für den Geruchssinn verwenden. Dann folgt ein mit den Augen und infolgedessen mit dem Gesichtssinn in Verbindung stehendes *Mittelhirn* und schließlich ein *Hinterhirn,* das mit dem Gehör- und dem Gleichgewichtssinn in Zusammenhang steht. Bei dieser Unterteilung handelt es sich um Grundstrukturen, die auch bei den höheren Wirbeltieren vorhanden sind. Auch beim Menschen können wir sie noch beobachten, obwohl sie bei ihm stark abgewandelt sind.

Wenig Änderungen treten bei den *Amphibien* auf, doch ist schon bei den *Reptilien* das Vorderhirn weiterentwickelt und beginnt, sich an der Basis und vorn um das Mittelhirn herumzulegen. Auch die beiden anderen Hirnabschnitte sind weiterentwickelt, da Sehvermögen und Gehör bei den Reptilien besser ausgeprägt sind als bei den Amphibien. Außerdem spielt das Mittelhirn eine größere Rolle bei der Koordination der erhöhten Sinnesaktivität. Aber immer noch sind alle drei Gehirnabschnitte sozusagen hintereinander angeordnet und haben ein einfaches Aussehen ohne unregelmäßige Furchen an der Oberfläche.

Bei den *Vögeln* weist das Hinterhirn bereits Oberflächenfurchen auf, und das Vorderhirn ist groß genug, um einen Teil des Mittelhirns zu überdecken. – Erst bei den *Säugetieren* entwickelt sich das Gehirn so riesig, daß das Vorderhirn die beiden anderen Hirnteile fast völlig bedeckt und die zwei stark gefurchten *Hemisphären* bildet, die durch einen Längsspalt voneinander getrennt sind. Der periphere Bereich, die *Hirnrinde,* bildet jetzt eine einzige, ununterbrochene Schicht, die sich in die Furchen hinein erstreckt und daher eine sehr große Oberfläche hat. Bei den höheren Säugetieren, die besonders zahlreiche und tiefe Hirnfurchen aufweisen, hat diese Hirnrinde im Vergleich zum Schädelvolumen eine außergewöhnlich große Oberfläche.

Natürlich hat sich diese Entwicklung in einzelnen Schritten während des langen Verlaufs der Geschichte der Säugetiere vollzogen. Diese Schritte sind auch heute immer noch feststellbar. Hierfür ein Beispiel: Beim Schnabeltier sind die beiden Hirnhälften glatt und sind nur gering entwickelt. Bei der Katze sind sie kleiner, weisen aber bereits eine Anzahl Furchen auf. Beim Elefanten schließlich und bei den Meeressäugern sind sie sehr groß und von Furchen übersät. Tatsächlich verfügen der Wal und der Delphin über eine größere Anzahl Gehirnfurchen als selbst der Mensch.

Gehirn und Lernen

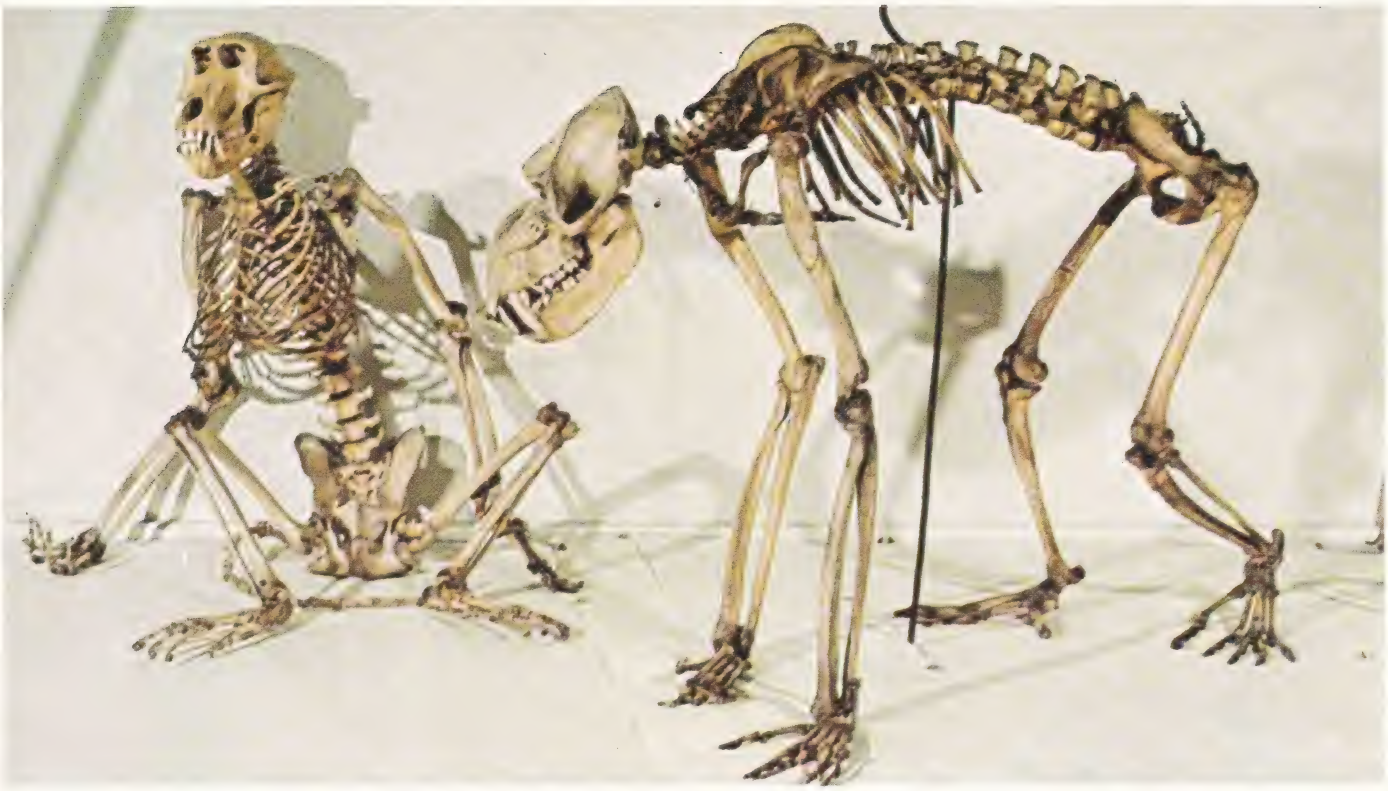
Die *Gehirnrinde,* die gemeinhin als graue Substanz bezeichnet wird, ist der Sitz des Gedächtnisses, der Lernfähigkeit und aller sonstigen geistigen Fähigkeiten. Beim Säugetier hat sich die Koordinierung der Sinneswahrnehmungen, die beim Reptil noch im Mittelhirn stattfindet, auf die grauen Zellen der Hirnrinde verlagert. Es kann auch bei höheren Säugetieren vorkommen, daß ein Nervenreiz nicht an die Hirnrinde weitergeleitet wird. Wenn dies geschieht, wird der Reiz nicht wahrgenommen und löst lediglich eine unbewußte Reaktion aus. In der Regel

jedoch werden Reize an die Hirnrinde weitergeleitet und dann wahrgenommen.

Die Reizbeantwortung *(Reaktion)* dürfte im allgemeinen dem entsprechen, was das jeweilige Tier, seit es auf der Welt ist, gelernt hat – eine wichtige Erkenntnis, die wir uns gut einprägen sollten. Man könnte mit anderen Worten sagen, daß ein Säugetier demnach ein Tier ist, das die erworbenen Erfahrungen nutzt.

Alle *Säugetiere (Mammalia)* werden von ihren Müttern gesäugt. Dadurch verbringen sie eine gewisse Zeit ihres Lebens mit dem Muttertier zusammen. Ein derart zwangsläufiger Kontakt wird für das Muttertier zu einer Zeit der Erziehung, für den Nachwuchs dagegen zu einer Zeit des *Lernens.* Man denke nur an die Löwen und die Beobachtungen, die die Wissenschaftler in bezug auf diese in den großen Wildreservaten Afrikas gemacht haben. Bis die Löwenjungen etwa drei Monate alt sind, spielen sie gemeinsam mit ihrer Mutter, die sie beaufsichtigt und reglementiert. Sie werden jedoch von den erwachsenen Tieren des Löwenrudels nicht auf die Jagd mitgenommen, weil dies für sie zu gefährlich wäre. Später nimmt die Löwin dann ihre Jungen mit, die sich im Jagdgebiet im hohen Gras verstecken und aus gebührender

Unruhige Gnus und junge Geparden im Amboseli-Wildreservat in Kenia. Im Kampf ums Überleben haben sich die Säugetiere alle Hilfsmittel der anderen Tiere angeeignet: verschiedene Jagdtaktiken, Zusammenwirken der Gruppe, „Waffen" wie Zähne, Klauen, Panzer usw. Doch sind die Säugetiere intelligenter: Viele von ihnen können sich unvermittelt von Angriff auf Verteidigung (und umgekehrt) umstellen. Sie sind dadurch für unvorhergesehene Situationen besser gerüstet.



Skelette von Orang-Utans. Es gibt etliche Unterschiede zwischen dem Säugetierskelett und dem Skelett der anderen Wirbeltiere. In jedem Fall scheinen die Säuger auf den ersten Blick einen kräftigen und gleichzeitig schlanken Knochenbau zu haben, der sie sehr beweglich macht: eine bedeutsame evolutionäre Errungenschaft.

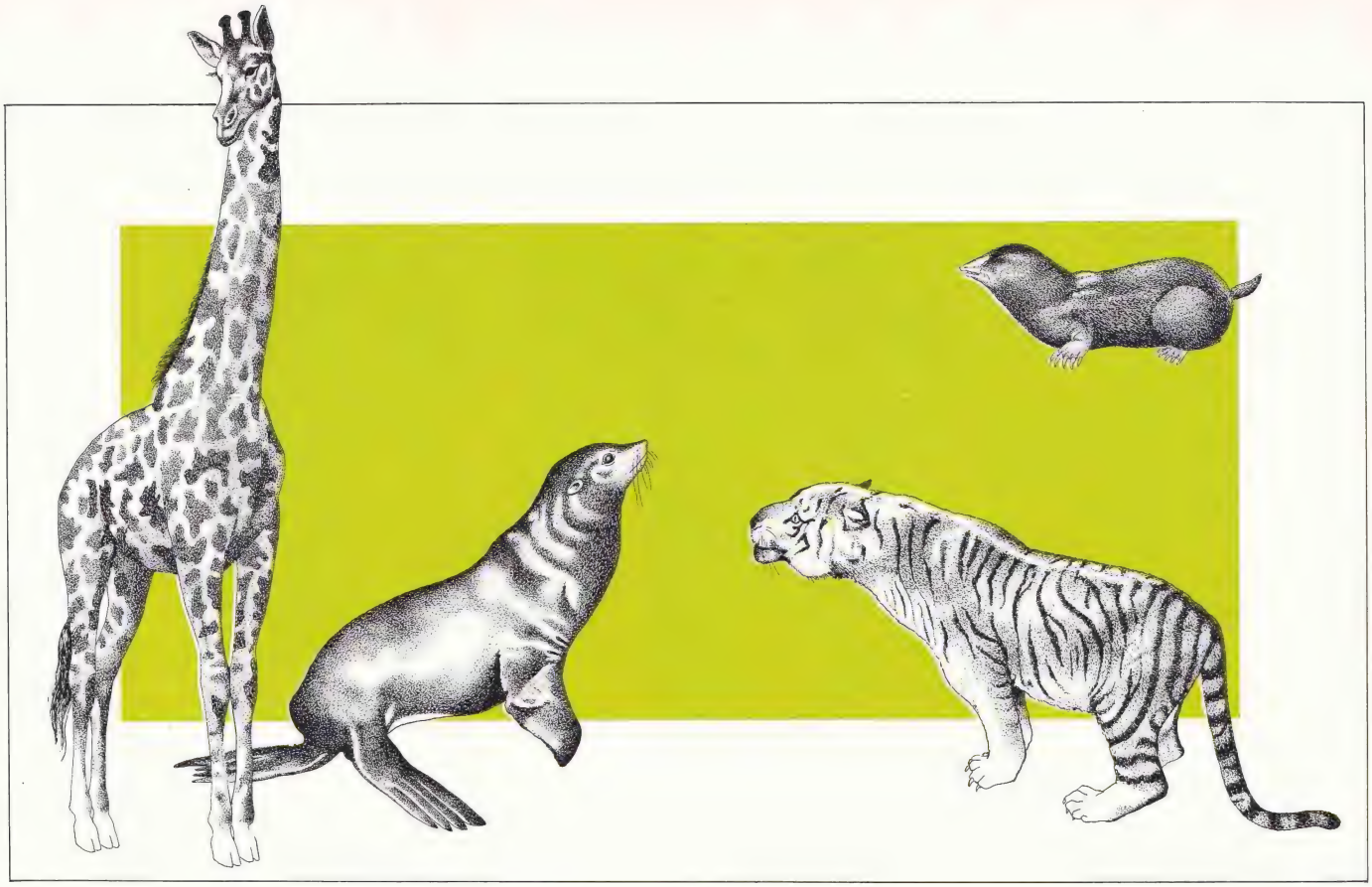
Entfernung beobachten, wie sich ihre Mutter verhält, wenn sie die Beute schlägt. Dieses Verhalten ahmen sie später nach.

Wir verstehen nun den wesentlichen Zweck einer verlängerten Tragzeit bei den Plazentatieren. Sie läßt ausreichend Zeit für die Entwicklung der Hirnrinde, die ihre Funktionen vom Zeitpunkt der Geburt an übernimmt. Während der darauffolgenden Säugezeit, die den Kontakt zwischen dem Nachwuchs und der Mutter einschließt, werden die in der Hirnrinde schlummernden Möglichkeiten in zunehmendem Maße aktiviert. Mit dieser Kombination aus verlängerter Tragzeit und Säugezeit hatte die Natur gewiß einen sehr glücklichen Einfall.

Schädelskelett und Gebiß der Säugetiere

Unsere detaillierte Abhandlung über die Säugetiere dürfte inzwischen deren Überlegenheit über die übrigen Wirbeltiere hinreichend dargelegt haben. Daher können wir nun mit ihrer Entwicklungsgeschichte fortfahren. Wir wollen dabei zunächst nach Indizien für den Übergang vom Reptil zum Säugetier suchen. Natürlich werden uns dabei die Fossilien aus den einzelnen geologischen Schichten beispielsweise überhaupt nichts über Homoiothermie, Tragzeiten oder erworbene Verhaltensmuster verraten können, da es sich bei den Fossilien ja lediglich um Knochen handelt. Außerdem können die Paläontologen diesen Übergang nur anhand mehr oder weniger vollständiger Skelette zeitlich fixieren. Wir werden noch sehen, daß dies keineswegs eine leichte Aufgabe ist.

Beim Säugetierskelett fällt vor allem auf, daß das Schädelvolumen größer ist als bei den anderen Wirbeltieren, um die erstaunliche

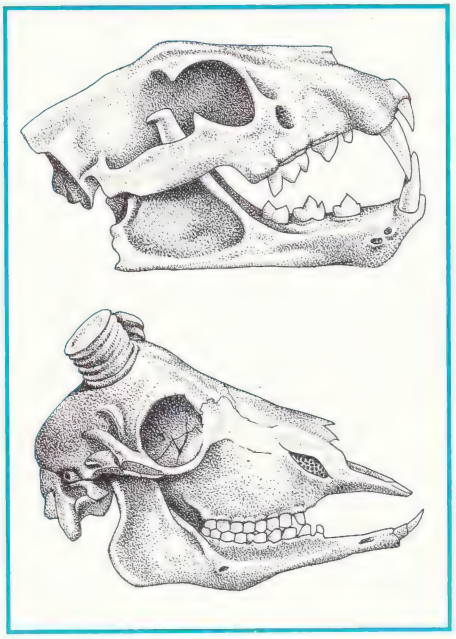


Die Unterschiede zwischen einer Giraffe, einem Seelöwen, einem Tiger und einem Maulwurf symbolisieren die große Vielfalt unter den Säugetieren. Obwohl die Säugetierklasse nur eine relativ beschränkte Anzahl von Arten umfaßt, weisen doch alle sowohl in bezug auf ihre Lebensgewohnheiten als auch in bezug auf ihren Lebensraum erhebliche Besonderheiten auf. So werden z. B. ganz unterschiedliche und z. T. extreme Biotope von Säugetieren besiedelt: Wüsten, Wälder, das Packeis der Polarzone, Berggipfel, das Meer, der Luftraum und der Erdboden.

Entwicklung der beiden Vorderhirnhälften zu ermöglichen, die wir soeben beschrieben haben. Außerdem findet sich im Maul der Säugetiere ein knöcherner *sekundärer Gaumen,* wie wir ja bereits wissen. Ferner besteht der Unterkiefer bei den Säugetieren aus einem einzigen Knochen, während er bei den Reptilien aus mehreren Knochen zusammengesetzt ist; im übrigen ist er bei diesen mit dem übrigen Schädel nicht in so hervorragender Weise gelenkig verbunden. Der Vorteil eines solchen Säugetierunterkiefers liegt auf der Hand: Seine Massivität gewährleistet einen größeren Kaudruck, der ja für das Zerkauen, Zermahlen oder Zerknabbern der Nahrung wichtig ist.

Das *Gebiß* der Säugetiere ist, funktionell gesehen, dem wenig differenzierten Gebiß anderer Wirbeltiere überlegen, auch wenn es bei manchen von ihnen, wie z. B. beim Hai oder beim Krokodil, sehr viel furchterweckender aussehen mag. Die zwar relativ kleinen, aber gut differenzierten *Zähne* des Säugetiergebisses vermögen die Nahrung sehr viel besser auszunutzen.

Beim Säugetiergebiß unterscheiden wir verschiedene Zahntypen, die man leicht selbst erkennen kann, wenn man sich seine eigenen Zähne näher besieht: Vorn in der Mitte stehen jederseits zwei meißelartige, scharfe Zähne, die zum Abschneiden der Nahrung geeignet sind und deshalb *Schneidezähne* genannt werden. Auf diese folgt je ein spitzer *Eckzahn.* Die sich anschließenden *Vorbackenzähne (Prämolaren)* und *Backenzähne (Molaren, Mahlzähne)* sind breit und haben eine höckerige Kaufläche, wodurch sie sich gut zum Zermahlen der Nahrung eignen; der erwachsene Mensch hat jederseits zwei Vorbacken- und drei Backenzähne. Die genannte Zahnfolge wiederholt sich in der gegenüberliegenden Kieferhälfte und gilt sowohl für den Oberkiefer als auch



für den Unterkiefer, so daß der erwachsene Mensch insgesamt 32 Zähne im Mund hat.

Diese Verteilung der Zähne finden wir, von Unterschieden in der Anzahl abgesehen, bei den meisten Säugetieren. Natürlich besteht ein Zusammenhang zwischen der jeweiligen Ausbildungsform der Zähne und der Hauptnahrung eines Tiers. So sind bei den *fleischfressenden Raubtieren* die Schneidezähne klein, die Eckzähne dagegen als *Fangzähne* lang und kräftig ausgebildet, weil sie zum Schlagen, d. h. Töten der Beute dienen. Die Prämolaren und Molaren haben hier spitze Höcker, die sich gut zum Zerfetzen der Beute und zum Zerknacken von Knochen eignen. Außerdem sind der hinterste obere Prämolar und der erste untere Molar jederseits als *Reißzähne* besonders groß und scharfkantig und haben gegeneinander Scherenwirkung.

Bei den *Pflanzenfressern* sind umgekehrt die Schneidezähne groß und die Eckzähne klein, während die Mahlzähne stark entwickelt sind; letztere haben hier komplizierte „Kämme" an der Oberfläche. Viele Pflanzenfresser, z. B. die Nagetiere, haben überhaupt keine Eckzähne, da diese keine nützliche Funktion mehr bei ihnen zu erfüllen hätten.

Ausnahmen von diesen Regelmäßigkeiten der Zahnfolge resultieren aus Anpassungsprozessen, die sich über Jahrmillionen erstreckt haben und denen besondere Freß- und Lebensgewohnheiten und die Bindung an bestimmte Biotope zugrunde liegen. Die interessantesten Beispiele für solche Ausnahmen kann man bei den Meeressäugern beobachten. Mörderwale z. B. und Delphine haben lauter gleichartige Zähne, die zum Packen der Beute geeignet sind. Der Blauwal und der Finnwal wiederum haben große Barten zum Herausfiltern der Nahrung aus dem Meerwasser. Bei ihnen sind die Zähne im Laufe der Evolution verschwunden und durch diese hornigen Filterplatten ersetzt worden.

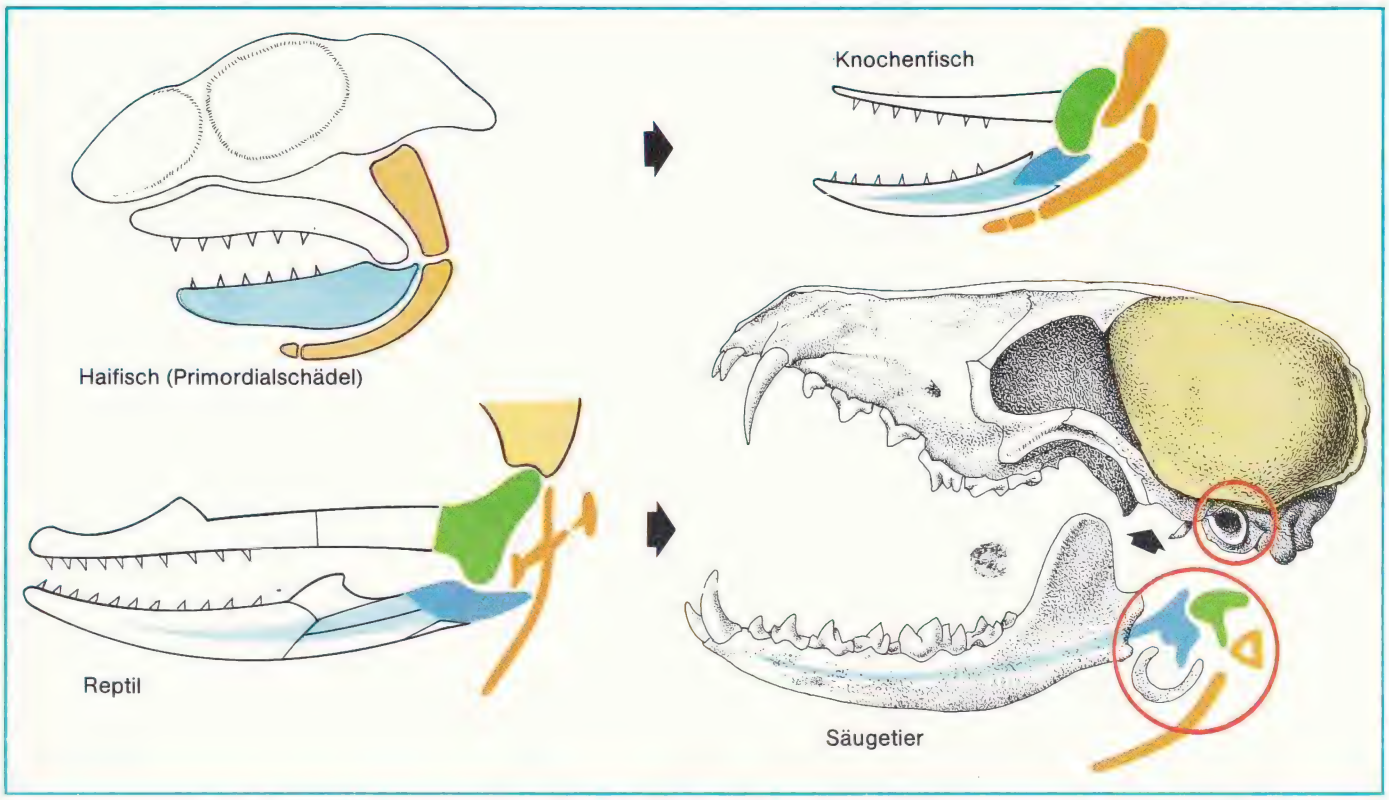
Das Kriterium des Kiefergelenks

Oben: Der Schädel eines Raubtiers (Löwe), darunter der eines Pflanzenfressers (Antilope). Die großen Fangzähne des Löwen werden zum Zupacken und zum Zerreißen der Beute benutzt. Die Reißzähne „tranchieren" die Beute, anstatt sie zu zermahlen. Bei der Antilope sind die Mahlzähne besonders ausgeprägt. Anstatt der Fang- und Reißzähne und der oberen Schneidezähne gibt es einen Knochenwulst, der zusammen mit den entsprechenden Zähnen des Unterkiefers zum Abzupfen des Grases dient.

Rechte Seite: Ein Buckelwal, in dessen Maul wir den dicken „Vorhang" von langen und hornigen, jedoch elastischen Barten sehen können, in denen sich das Plankton verfängt, von dem dieser Wal lebt.

Unsere Ausführungen über die Verteilung der Zähne beim Säugetier könnten den Schluß nahelegen, daß wir ein prähistorisches Tier leicht anhand der Bezahnung als Säugetier oder Reptil bestimmen könnten. In der Paläontologie hat sich diese Vorstellung während des ganzen letzten Jahrhunderts gehalten, bis durch die Entdeckung von hochentwickelten Reptilien in der Karrusteppe nachgewiesen wurde, daß eine solche Zuordnung fragwürdig und problematisch ist. Es wurden Fossilien von Tieren mit bemerkenswert weit entwickelten Zähnen gefunden, deren sonstige Merkmale eindeutig auf Reptilien schließen ließen. Damit wurde das Kriterium der ausdifferenzierten Bezahnung unglaubwürdig. Da nun andere Kriterien nicht so wohldefiniert waren, wurde der Übergang vom Reptil zum Säugetier immer schwerer faßbar.

Jahrzehntelang herrschte Ungewißheit, ehe der berühmte amerikanische Paläontologe George Gaylord *Simpson* (geb. 1902) eine befriedigende Lösung fand. Simpson schlug vor, die Art der gelenkigen Verbindung des Kiefers mit dem übrigen Schädel zur Grundlage der Unterscheidung zu machen. Dieses unabänderliche und unbestechliche Kriterium ist unterdessen allgemein akzeptiert, weil der Übergang vom ursprünglichen Kiefergelenk der älteren Vierfüßer, der Amphibien und Reptilien, nicht nur die volle Nutzung einer ausdifferenzierten Bezahnung ermöglichte, sondern auch (so absonderlich das klingen mag), weil der Übergang mit bestimmten anatomischen Veränderungen im Mittelohr zusammenfällt. Damit haben wir mit dem Kiefergelenk ein



Ein Beispiel für die komplexen Veränderungen, denen das Schädelskelett der Wirbeltiere unterworfen war, ist die Umwandlung der Gelenkverbindung zwischen Unter- und Oberkiefer und die damit verbundene Herausbildung der Gehörknöchelchen.

zweifaches Kriterium, das zwei ziemlich unterschiedliche anatomische Komplexe betrifft.

Im vorigen Band haben wir eine kurze Beschreibung der seltsamen Verwandlung des Gehörorgans beim Übergang vom Fisch zum Amphibium gegeben. Wir müssen uns dies in Erinnerung rufen, wenn wir zu einem besseren Verständnis des Kriteriums der sekundären Verbindung des Kiefers mit dem Schädel gelangen wollen. Im Devon, also vor über 350 Millionen Jahren, bildete ein kleiner, länglicher Knochen, die *Columella,* eine Brücke zwischen dem Trommelfell und dem häutigen Labyrinth im Innenohr bei denjenigen Fischen, die durch Gewöhnung „gelernt" hatten, die Lebensbedingungen außerhalb des Wassers bis zu einem gewissen Grad zu ertragen. Mit der Columella konnten diese Fische Geräusche wahrnehmen, die durch die atmosphärische Luft übertragen wurden.

Diese Struktur mit einem einzelnen Knochen blieb auch bei den Reptilien erhalten. Bei den Säugetieren jedoch haben sich im gleichen Abschnitt des Gehörgangs die sog. *Gehörknöchelchen* (Hammer, Amboß und Steigbügel) herausgebildet. Der Steigbügel entspricht dabei offensichtlich der früheren Columella bei den Amphibien und Reptilien. Woher aber kamen die beiden anderen Gehörknöchelchen? Sie stellen die Reste der ehemaligen Gelenkverbindung zwischen Kiefer und Schädel dar.

Als die Verbindung zwischen Schädel und Kiefer bei den höherentwickelten Reptilien enger und effektiver wurde, wurden mehrere kleine Knochen eingespart, weil sie funktionslos geworden waren. Zwei von ihnen fanden Aufnahme in der Mittelohrhöhle und bildeten zusammen

mit der nun zum Steigbügel gewordenen Columella eine Knöchelchenkette: eben den Hammer, den Amboß und den Steigbügel. Die erstaunliche Umgestaltung führte über geradezu groteske Mutationen schließlich zu der außergewöhnlichen Kompliziertheit des Gehörorgans der Säugetiere. Dies geschah zu Beginn des Mesozoikums und vollzieht sich auch heute noch immer während der Embryonalentwicklung der Säugetiere, wenn sich das Ohr allmählich herausbildet. Zweifellos war es diese Umwandlung, die in grauer Vorzeit den Übergang vom Reptil zum Säugetier kennzeichnete.

Schlafende Fledermäuse in einer Höhle. Die Flattertiere (Chiroptera), die Ordnung der Säugetiere, zu der die Fledermäuse gehören, haben eine vollständige Bezahnung, obwohl ihr Gesicht abgeflacht und nur wenig entwickelt ist. Die Flattertiere sind die einzigen flugfähigen Säugetiere

1 Holozän
2 Pleistozän
3 Pilozän
4 Miozän
5 Oligozän
6 Eozän
7 Paleozän

Ursprung und Evolution der Säugetiere

Eine geheimnisvolle Emanzipation

Die Evolutionslinie, auf der sich der Übergang vom Reptil zum Säugetier vollzogen hat, verliert sich leider im Dunkel der Vorzeit. Wir kennen zwar den Edaphosaurus der Karbonwälder mit seinem mächtigen Rückenkamm, mit dessen Hilfe dieser die bestmögliche Anpassung seiner Körpertemperatur an die jeweiligen Umweltbedingungen erreichte, und wir kennen das ähnlich strukturierte Dimetrodon einer späteren Epoche, die beide zu den echten „Säugetierreptilien", den Therapsiden, überleiteten. Aber das genaue „wann", „wie" und „wo" bleibt rätselhaft.

Der große Fortschritt erfolgte gegen Ende der Trias, als es sowohl in Gondwanaland als auch in den Nordländern Lebewesen gab, die ein Haarkleid hatten und ein Gebiß mit unterschiedlichen Zahntypen und die bereits deutliche Merkmale der Homoiothermie aufwiesen, auch wenn sie in vieler Hinsicht noch reptilienartig waren. Unter diesen Tieren sind die ersten Säugetiere zu suchen. Sie begegnen uns (mit Hilfe des weiter vorn besprochenen Kriteriums der Verbindung zwischen Kiefer und übrigem Schädel sicher identifiziert) in Gestalt einiger Kleintiere, die wie unsere heutigen Insektenfresser aussahen. Zweien von ihnen sind wir bereits früher begegnet, dem *Morganucodon* (oder *Eozostrodon*) und dem *Megazostrodon,* als sie sich ängstlich in den Farnen vor den riesigen Dinosauriern verbargen.

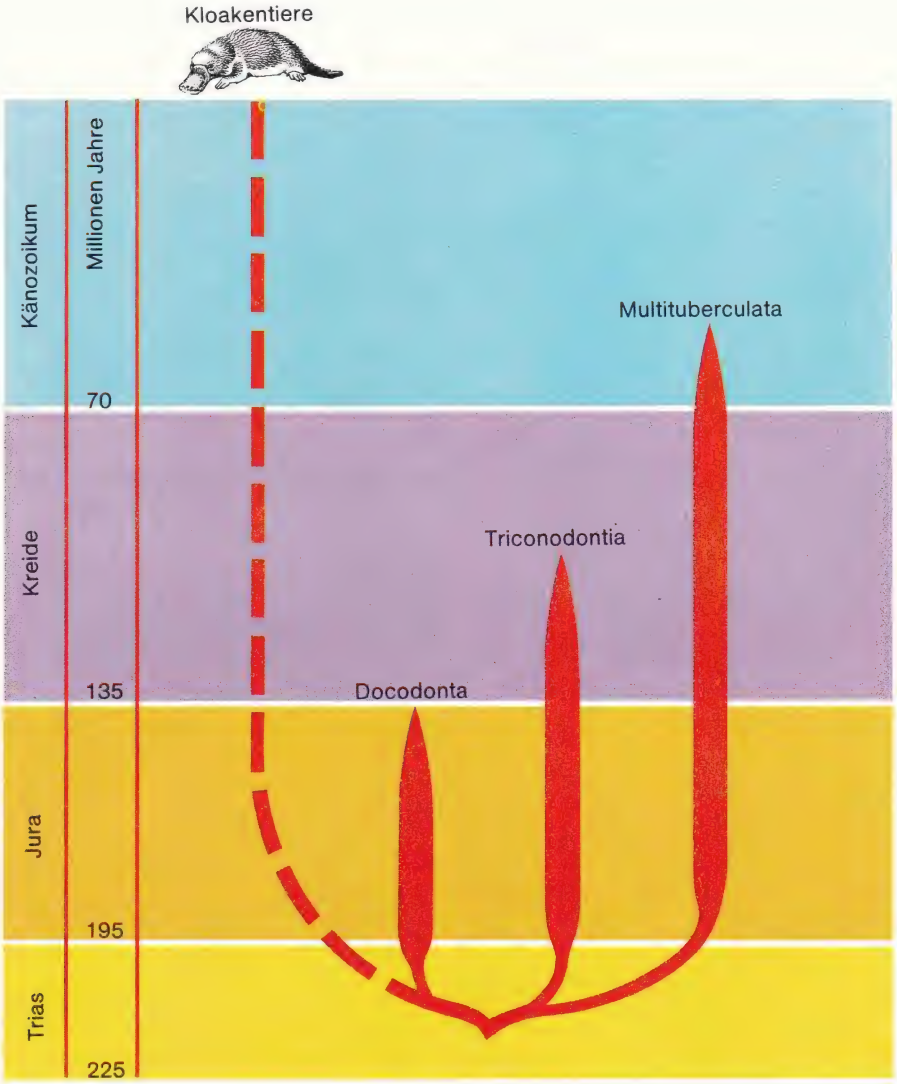
Der Trend zur Weiterentwicklung der Säugetiere zeigte sich bereits bei verschiedenen Zweigen der *Therapsiden* auf unterschiedliche Art und Weise. Das verleitete manchen Wissenschaftler zu der Annahme, daß der Übergang vom Reptil zum Säugetier mehrfach, d. h. an mehreren Stellen, mehr oder weniger gleichzeitig erfolgt sei. Durch den amerikanischen Paläontologen Alfred Sherwood *Romer* wurde jedoch nachgewiesen, daß es eine *Übergangsform,* die ein echtes fehlendes Verbindungsglied *(Missing link)* zwischen Reptil und Säugetier darstellt, gegeben hat. Es handelt sich um den *Diarthrognathus* (späte Trias, Funde aus Südafrika), einen nur 25 cm langen Therapsiden. An seinem Schädel stellte man ein primäres Reptilienkiefergelenk in Verbindung mit einer sekundären Gelenkverbindung fest, wie sie typischerweise bei Säugetieren vorkommt.

Die Entwicklung der Säugetiere über eine Zeitspanne von 70 Millionen Jahren hinweg, vom Ende der Kreide bis zur Gegenwart. In der Darstellung werden einige der bedeutendsten Stämme der verschiedenen Epochen dargestellt. Man beachte, wie sich die einzelnen Formen, angefangen von den primitivsten (rechts), allmählich immer mehr den heutigen annähern. – Zusammen mit den primitiven Säugern ist ein riesiger Laufvogel dargestellt (Diatryma), der deswegen wichtig ist, weil er mit ihnen konkurrierte.

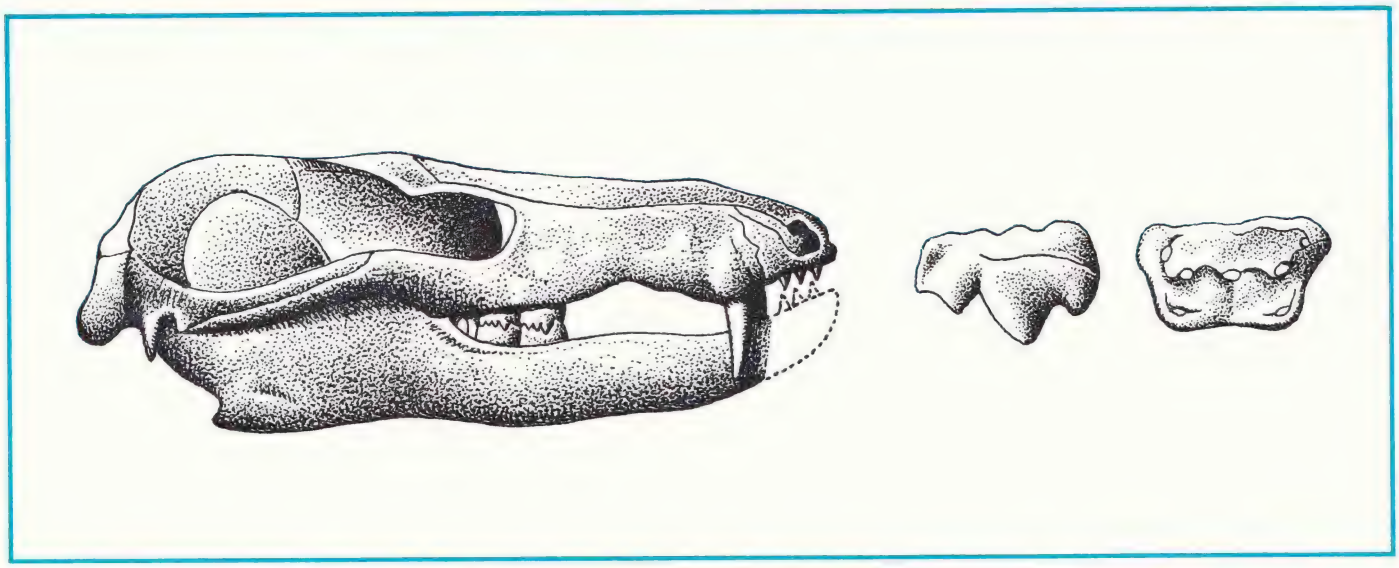
Die kleinen Allotheria in der rauhen Welt der Dinosaurier

Nachdem sie sich erst einmal vom Stamm der Reptilien getrennt hatten, verbargen sich die frühesten Säuger der oberen Trias in den entlegensten Verstecken: im Dickicht, in hohlen Bäumen und vor allem in den tiefen Felsspalten, in denen ihre Knochen heute gefunden werden. Sie wagten sich wohl nur nachts aus ihrem Versteck, um Insekten zu jagen. Damals waren sie die kleinsten Säugetiere auf der Erde (das Morganucodon z. B. war höchstens 10 cm lang), und es lag sicher an ihrer Winzigkeit, daß sie sich so lange in der blutrünstigen Welt der Saurier halten und überleben konnten.

Diese kleinen Säuger hatten zum größten Teil Skelettmerkmale, die sich von ihren heutigen Vettern stark unterscheiden. Die Wissenschaftler verwiesen sie in die Unterklasse *Allotheria*. In der oberen Trias waren die Allotheria durch die beiden Ordnungen *Dokodonten* und *Trikonodonten* vertreten. Das in Europa, Asien und Afrika lebende *Morganucodon* gehörte zur ersteren Ordnung. Die zweite Ordnung war u. a. durch das im Gebiet des heutigen China heimische *Sinocodon* vertreten, das ausdifferenzierte Zähne besaß, die in gleicher Weise für eine Ernäh-



Evolutionsdiagramm der Allotheria, der primitivsten bekannten Säugetiere, mit einem Hinweis auf ihre wahrscheinliche Verbindung mit den Kloakentieren, den Prototheria der Gegenwart.



Der Schädel und die Zähne eines Trikonodonten. Diese Säugetiere waren mit einem langen Kiefer ausgestattet, der ein ziemlich spezialisiertes Gebiß mit vier Schneidezähnen, einem Reißzahn, vier Prämolaren und fünf Molaren (Mahlzähnen) aufwies.

rungsweise als Fleischfresser, Insektenfresser und Pflanzenfresser geeignet waren.

Manche Wissenschaftler vermuten eine Verbindung zwischen den Dokodonten der Trias und den rezenten Prototheria (die Kloakentiere mit Ameisenigel und Schnabeltier), andere nehmen an, daß sich die Prototheria völlig unabhängig unmittelbar aus den Therapsiden entwikkelt hätten. Die Fossilien geben keinerlei Hinweise, weder für die eine noch für die andere Richtung, da die ältesten Funde von Kloakentieren nicht älter als eine Million Jahre sind. In einem Punkt sind sich die Wissenschaftler allerdings einig: daß der Ursprung der Kloakentiere auf die Trias zurückgeht.

Die Säugetiere im Jura

Die Sonne ging über der Trias unter, und die Morgenröte des Juras kam herauf. Überall wimmelte es von Reptilien aller Formen und Größen, von denen die meisten Räuber waren. In der Zwischenzeit entwickelten sich die wenigen vorhandenen Kleinsäuger im verborgenen tüchtig weiter und paßten sich an sehr unterschiedliche Lebensräume an.

Nach den wenigen fragmentarischen Fossilfunden zu urteilen, waren die ältesten Säuger, die bereits genannten Trikonodonten, weit verbreitet. Ihr typischster Vertreter, das *Triconodon* des oberen Juras in England, wurde so groß wie eine große Katze. Inzwischen waren diese Lebewesen mit Sicherheit zu Fleischfressern geworden. Auf die Trikonodonten folgten die *Multituberculata,* pflanzenfressende Nager, die, zwar ohne Reißzähne, jedoch ausgerüstet mit langen, mäuseartigen Schneidezähnen, eine verblüffende Ähnlichkeit mit unseren heutigen Nagetieren gehabt haben müssen. Aus dieser Gruppe seien der europäische *Plagiaulax* und das sowohl in Europa als auch in Amerika vertretene Ctenacodon genannt, beide noch recht klein.

Während des Juras waren die Allotheria durch Insektenfresser, Fleischfresser und Nagetiere vertreten. Sie waren bereits vielfältig spezialisiert, aber ihr Niedergang hatte schon gegen Ende des Juras begonnen. Dies ist einerseits wohl auf die Vernichtung ihrer ökologischen Nischen zurückzuführen, andererseits aber auch auf den ständigen Zustrom von Säugern aus der großen Unterklasse der *Theria,* die

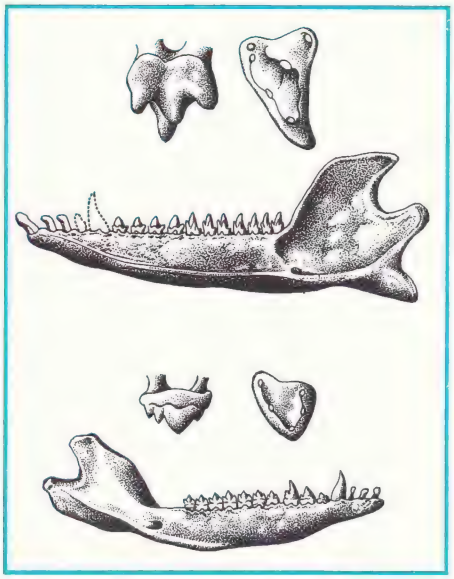
Unten: Kiefer und Zähne eines Pantotheriums (A) und eines Symmetrodonten (B). Die Pantotheria hatten ein ziemlich spezialisiertes Gebiß, bei dem die oberen Mahlzähne, deren Spitzen nach der Maulinnenseite gerichtet waren, und die unteren Mahlzähne, die demgegenüber eine Neigung nach außen hatten, ein kompliziertes Schneidesystem bildeten. Die Symmetrodonten hatten Mahlzähne, die aus drei Zacken in einer symmetrischen Dreiecksposition bestanden (Name!).

weiter entwickelt waren und über ein besser ausgebildetes Gehirn verfügten.

Die Theria des Juras waren noch keine echten Beuteltiere und noch keine Plazentatiere. Sie gehörten den beiden Ordnungen *Symmetrodonta* und *Pantotheria* an, die wie auch alle anderen bereits erwähnten Gruppen längst ausgestorben sind. Die Pantotheria waren nur winzige Raubtiere und Insektenfresser, nicht größer als eine Maus; aber dennoch schlummerte in ihnen bereits der Keim für die folgende wunderbare und vielfältige Entwicklung der Säugetiere zum Känguruh, zum Wal, zum Elefanten usw. usw. und schließlich zum Menschen.

Beuteltiere und Plazentatiere in der Kreide

Die Morgendämmerung der Kreidezeit brachte keinerlei Veränderung des Angesichts der Erde mit sich, die immer noch das Reich der Dinosaurier und anderer Reptilien war. Für die Säugetiere war das Leben weiterhin eine einzige Schinderei und Plackerei, wodurch sie jedoch andererseits gezwungen waren, ihre Merkmale und Eigentümlichkeiten immer mehr zu verfeinern und zu verbessern.



Diese Entwicklungstendenz zeigte sich schon relativ früh; denn die ersten Plazentatiere, die ja in der blutrünstigen Welt auf verlorenem Posten standen, liefen bereits in der unteren Kreide umher. Über sie ist allerdings wenig bekannt, da ihre Überreste spärlich und bruchstückhaft sind. Immerhin wurden in Texas einige kleine, vereinzelte Zähne gefunden, die gewiß einem Plazentatier, und zwar dem Insektenfresser *Pappotherium,* gehört hatten. Aus Schichten eines vergleichbaren Erdzeitalters in Ostasien wurde der Schädel eines entsprechenden Lebewesens, des *Endotheriums,* zutage gefördert.

Die Wissenschaftler sind sich heute darüber einig, daß sich die beiden großen Gruppen der rezenten Theria von den Panthotheria des Juras mehr oder weniger gleichzeitig gelöst haben und daß diese Ablösung schon sehr früh, vermutlich während des Juras, erfolgt ist. Die beiden Zweige, in die sich der Stamm der Säugetiere dann geteilt hatte, erlebten ihre Blütezeit ungefähr gleichzeitig gegen Ende der Kreide.

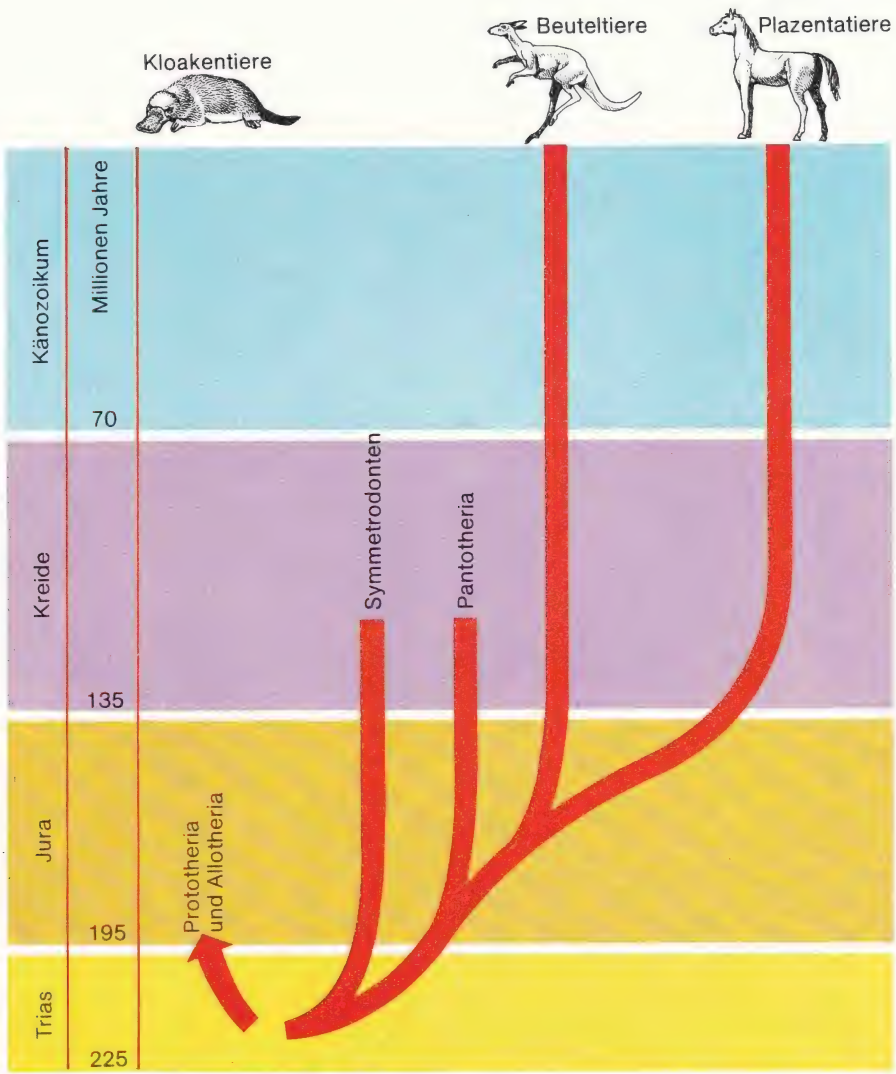
Damals gab es kleine *Beuteltiere,* (z. B. *Eodelphis, Thlaeodon* und *Boreodon* in Nordamerika), die dem heutigen Opossum sehr ähnlich waren. Zusammen mit diesen entwickelten sich die ersten *Plazentatiere,* hauptsächlich Insektenfresser, die unserem heutigen Igel und der Spitzmaus (wie der mongolische *Zalambdalestes*) glichen. Es gab allerdings auch solche, die, wenigstens in einem gewissen Umfang, Merkmale von Fleischfressern (z. B. das ebenfalls mongolische *Deltatheridium*) oder von Pflanzenfressern zeigten.

In dem Maße, wie die echten Säugetiere seit dem Ende der Kreide aufblühten, starben etwa zur gleichen Zeit die letzten Vertreter der Dokodonten, Trikonodonten, Panthotheria und Symmetrodonten aus, der bis dahin einzigen überlebenden Nachkommen jener urtümlichen Säugetierformen, die die unbekannten Vorfahren der heutigen Kloakentiere und der ausgestorbenen Multituberculata darstellen.

Rechte Seite: Rekonstruktion eines Ctenacodons (im Vordergrund) und eines Triconodons mit seinem Nachwuchs (im Hintergrund).

Das Känozoikum

Das Ende der Kreidezeit und damit zugleich des Mesozoikums vor rund 70 Millionen Jahren leitete die Morgendämmerung des bisher letzten Zeitalters in der Erdgeschichte ein, des *Känozoikums* („Zeitalter der rezenten Tiere"). Aus der folgenden Tabelle kann man entnehmen, wie



Evolutionsdiagramm der Theria. Man beachte, daß die Symmetrodonten ein unfruchtbarer Zweig blieben, während die Pantotheria – nach modernen Theorien – zur Entstehung der Beuteltiere und der Plazentatiere geführt haben. Wie aus dem Diagramm hervorgeht, ist es wahrscheinlich, daß die beiden letzten Gruppen bereits vor Ende des Juras erstmals auftraten.

die Wissenschaftler dieses Zeitalter unterteilen. Sie gibt auch die ungefähre Dauer der einzelnen Zeitabschnitte an. Es ist sicher angebracht, sich die Fakten dieser Tabelle gut einzuprägen, weil sie die explosive Entwicklung der Säugetiere und die gesamte Geschichte der Säuger enthält. Die Begriffe „Tertiär" und „Quartär" sind Überbleibsel einer früheren Nomenklatur, in der das Paläozoikum und das Mesozoikum als „primär" und „sekundär" beschrieben wurden. Wir behalten sie gleichwohl bei, weil sie immer noch allgemein verwendet werden.

Zeitalter	Periode	Epoche	Zeitraum (Jahre)
Känozoikum	Tertiär	Paleozän	70 000 000–60 000 000
		Eozän	60 000 000–40 000 000
		Oligozän	40 000 000–25 000 000
		Miozän	25 000 000–10 000 000
		Pliozän	10 000 000– 2 000 000
	Quartär	Pleistozän	2 000 000– 10 000
		Holozän	10 000 bis heute

Ein seltenes Exemplar eines albinotischen Känguruhs mit seinem Jungen im Beutel. Die Beuteltiere, die große Gruppe von Säugern, zu der das Känguruh gehört, unterscheiden sich von den Plazentatieren nicht nur in ihrem Fortpflanzungssystem, sondern auch in ihrer Anatomie. So weist z. B. ihr Gehirn viele Merkmale der Reptilien auf, und sowohl die Männchen als auch die Weibchen haben zwei mit dem Bauchfell verbundene Knochen (Beutelknochen genannt).

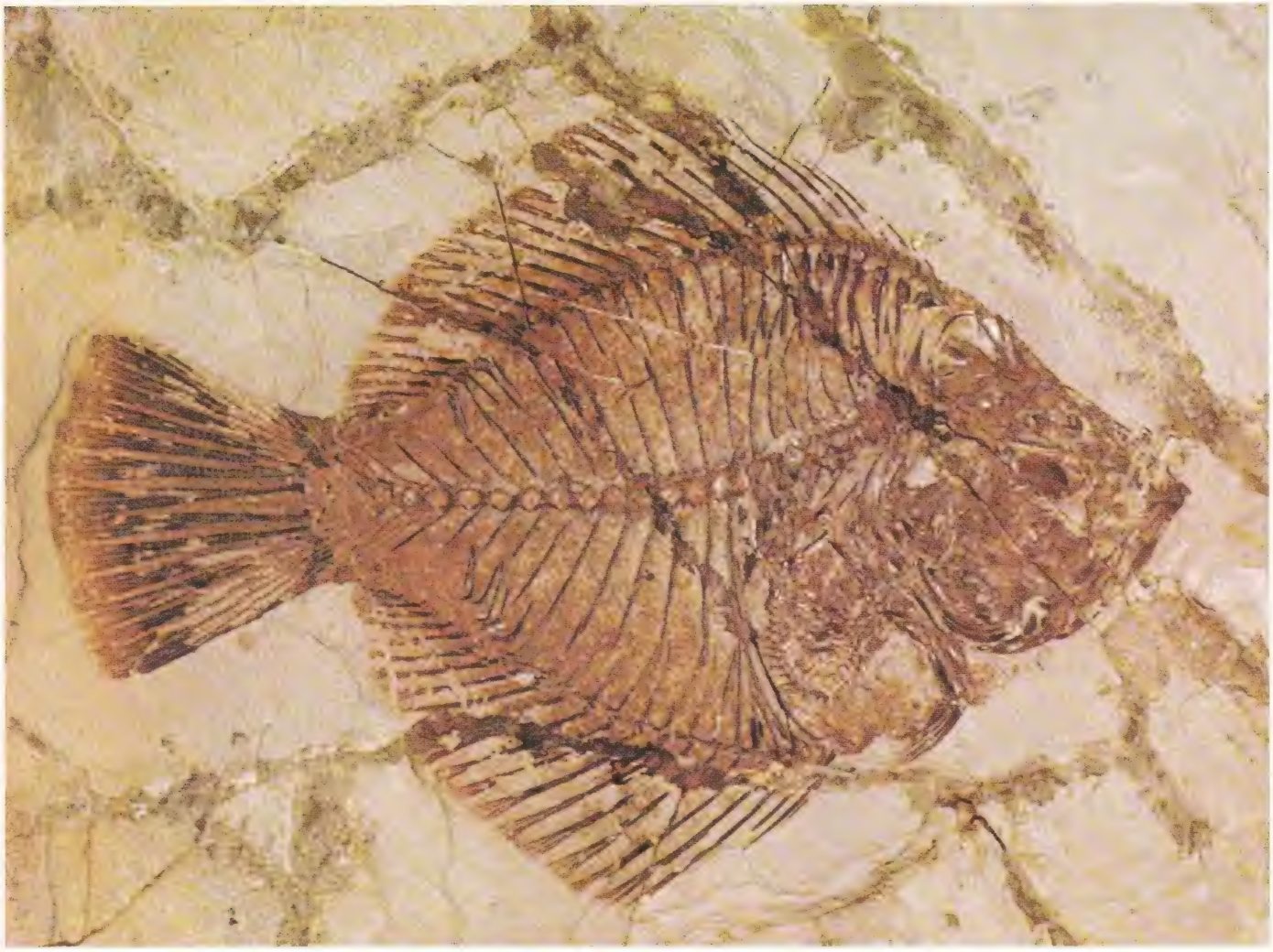
Während des Känozoikums unterlagen die Kontinente den Verschiebungsprozessen, die sie schließlich in ihre heutige Lage brachten. Als dieses Zeitalter anbrach, gab es immer noch eine breite Landbrücke, die den europäischen Kontinent mit Nordamerika verband, doch dehnte sich der Atlantische Ozean, der nach Süden zu beträchtlich breiter war, nach Norden hin aus und fraß diese verbindende Landzunge im Laufe der Zeit immer mehr weg, bis sie schließlich vollkommen unterbrochen war.

Mit verschiedenen Unterbrechungen war Nordamerika auch mit Asien verbunden, und zwar in der Gegend der heutigen Beringstraße. Von Südamerika war es jedoch fast während des gesamten Känozoikums getrennt; die Landenge von Panama bildete sich erst gegen Ende des Pliozäns. In der Zwischenzeit schloß sich Indien vollständig an den asiatischen Kontinent an, der zusammen mit Europa immer noch mit Afrika verbunden blieb.

Natürlich übten die komplizierten Bewegungsvorgänge im Bereich der Kontinentalschollen, wie wir noch sehen werden, einen beträchtlichen Einfluß auf die Wanderzüge ganzer Säugetierpopulationen aus

Oben: Versteinerung einer Palme (Latanites), gefunden bei Bolca in der Nähe von Verona (Italien).

Rechts: Gegen Ende des Tertiärs hatte Mitteleuropa die Flora einer gemäßigten oder gemäßigt-warmen Klimazone mit einigen subtropischen Einsprengseln. Typisch für diese Pflanzenwelt waren Birken, Koniferen, Fächerpalmen und riesige Eichen.



und damit notwendigerweise auch auf die Evolutionsprozesse in der gesamten Tierklasse.

Gebirgsauffaltungen und klimatische Veränderungen

Die Bewegungen der Kontinentalschollen während des Känozoikums bewirkten die Auffaltung der riesigen Gebirgszüge, die wir noch heute bewundern. So schuf der ungeheure Druck der indischen Kontinentalscholle gegen die Südgrenze Asiens den Himalaja. Gleichzeitig wurde der lange Gebirgsstreifen gebildet bzw. vervollständigt, der die alte Welt von den Pyrenäen bis zum Pazifik umgürtet und zu dem auch der Himalaja gehört. In Nordamerika entstanden während des Paleozäns die Rocky Mountains.

Während diese geologischen Veränderungen der Erdoberfläche stattfanden, änderte sich auch das Klima unseres Planeten drastisch, wodurch die Lebensbedingungen erheblich verschlechtert wurden. Die Wissenschaftler können heute an Hand bestimmter Fossilfunde die Temperatur des Meerwassers in verschiedenen Epochen bestimmen. Daher wissen wir, daß sich das Wasser der Ozeane nach einer heftigen Abkühlung, die gegen Ende der Kreidezeit eintrat, wieder erwärmte und

Die gut erhaltene Versteinerung eines Fischs (Amphistium paradoxum) aus Ablagerungen in der Nähe von Bolca bei Verona (Italien).

während des Eozäns eine Höchsttemperatur erreichte, um danach erneut allmählich wieder abzukühlen. Dieses Phänomen hängt offensichtlich mit der Kontinentalanhebung zusammen, die in der Kreide und erneut vom Oligozän an sehr ausgeprägt war. Mit der Temperaturverschiebung änderten sich entsprechend auch die Gezeiten und die Windverhältnisse.

Aus dem Band über das Zeitalter der Dinosaurier sind wir bereits mit der ökologischen Katastrophe vertraut, die gegen Ende der Kreide über die Erde hereinbrach. Danach verbesserten sich die Lebensbedingungen wieder, und die Korallenriffe, die durch die Krise der Kreidezeit untergegangen waren, tauchten in neuer Üppigkeit wieder auf und breiteten sich nach Norden aus. Während des Paleozäns und des Eozäns

Das berühmte Matterhorn (4 478 m über dem Meeresspiegel) in den Alpen mit seiner typischen Pyramidenform. Dieser Berg ist aus paläozoischen und älteren Sedimentgesteinen aufgebaut.

gab es prächtige tropische Wälder in den Gebieten, in denen heute ein gemäßigtes Klima herrscht. Noch später ging das durchschnittliche Temperaturniveau allmählich wieder zurück, und es bildeten sich im Laufe der Zeit diejenigen klimatischen Bedingungen, wie sie heute herrschen.

Die große Vereisung des Pleistozäns

Obwohl es gegen Ende des Oligozäns auf den Bergen Eis und Schnee gab, war die Erde damals doch noch ziemlich warm; überall, von Alaska bis Patagonien, wuchsen Palmen mit riesigen Wedeln. Während des Miozäns jedoch, vor rund 20–15 Millionen Jahren, kam es erneut zu einer Ausbildung der polaren Eiskappe der Antarktis.

Wir erinnern uns, daß einstmals eine riesige kontinentale Eisdecke einen Teil von Gondwanaland bedeckte, während eisige Winde über die öde Steppe der Karru hinwegfegten, in der seltsame Reptilien verzweifelt ums Überleben kämpften. Dies geschah im Paläozoikum, während des Perms. Später gab es dann fast 200 Millionen Jahre lang keine polaren Eiskappen mehr auf der Erde. Daher war das Wiederauftreten ungeheurer Eisschichten am Südpol offensichtlich ein Hinweis auf den Beginn einer drastischen Klimaveränderung. Diese Veränderung sollte jedoch erst nach einer umfangreichen Vergletscherung ihren Höhepunkt erreichen, die mit den großen Vergletscherungen des Perms und des Karbons vergleichbar ist.

Diese *Vergletscherung* entwickelte sich im Pleistozän und verlief höchst dramatisch. Mehrmals hintereinander schwollen in der Gegend unserer heutigen gemäßigten Klimazonen die Eiskappen auf den Gebirgsrücken an und dehnten sich weit in die Ebenen hinein aus, wobei sie ungeheure Schutthügel mit sich schleppten. Auch in den arktischen Gebieten wuchsen die Eiskappen, bis sie miteinander verschmolzen und riesige Eiswüsten bildeten: Es waren die Gletscherströme aus Grönland, Baffinland und des Kanadisch-Arktischen Archipels, die sich mit denen der Rocky Mountains und der Coast Mountains vereinigten.

In Nordamerika überzog die Eiswüste ganz Kanada. Sie erstreckte sich ferner über den Bereich der großen Seen hinaus bis in das Gebiet der heutigen Stadt New York. In Europa reichte die Vergletscherung von Skandinavien bis zu den Alpen. Sie überdeckte die Ostsee und die Nordsee und schob sich bis nach England und Irland vor. Auch die Tiefebenen des heutigen Deutschlands und Rußlands waren total vereist.

Die äußerste Ausdehnung der Vergletscherung während des Pleistozäns.

Ursachen und Folgen der Eiszeit

Die letzte Phase dieser Vergletscherung endete erst vor wenig mehr als 10 000 Jahren. Einige ihrer Auswirkungen sind noch heute spürbar. So wurden z. B. Kanada und Skandinavien unter der Last des Eispanzers durch die Elastizität der tieferen Schichten der Erdkruste zunächst weit hinabgedrückt. Als sich dann jedoch die Eiskruste zurückbildete, hoben sich diese Regionen wieder und fanden ein neues Gleichgewicht; dieser Prozeß ist immer noch im Gang.

Auf dem ganzen Erdball senkte sich der Meeresspiegel während der Vergletscherung erheblich, da ja ein großer Teil des Wassers auf der Erde im Eis gebunden war. Während der *Zwischeneiszeiten* (Wärmeeinbrüche, die zwischen zwei Vereisungsperioden erfolgten) jedoch stieg der Meeresspiegel dann wieder mehrfach an, zum Teil sogar über den heute zu verzeichnenden Höchststand.

Die berühmte „Schlange" des Mer de Glace, des mit 15 km Länge längsten Gletschers der Montblancgruppe.

Alle diese umfassenden Ereignisse spielten sich bisher in der Erdgeschichte in so relativ kurzen Zeiträumen ab, daß man nicht annehmen kann, daß die Vergletscherung abgeschlossen sei. Die Erde befindet sich heute vielmehr in einer sog. Warmzeit (Zwischeneiszeit), ohne daß dies den meisten Menschen bewußt wäre.

Einige Wissenschaftler, die die intensiven Untersuchungen des jugoslawischen Astronomen Milutin *Milanković* (1879–1958) über die Ursachen der Vergletscherung weiterführten, waren mit diesem der Ansicht, daß die umfassenden Klimaveränderungen auf der Erde durch geringfügige Verschiebungen des Neigungswinkels der Erdachse und der Umlaufbahn um die Sonne verursacht würden. Andere Wissenschaftler sind in jüngster Zeit zu dem Schluß gekommen, daß die Hauptursachen dieser Veränderungen Geschehnisse auf der Erdoberfläche selbst seien. Wenn das so ist, würde der von Milanković aufgestellte Zyklus nur einen teilweisen Einfluß auf eine Umwelt haben, die bereits in eine bestimmte Richtung hin programmiert ist.

Wenn der Leser die Vorgänge im Känozoikum bisher sorgfältig verfolgt hat, sind ihm die Argumente bekannt, die die zweite dieser

Rechts: Im Anschluß an das Abschmelzen der Eismassen, die sich über Skandinavien angesammelt hatten, waren die Gebiete um die Ostsee einer langsamen Hebung ausgesetzt, die auch heute noch mit einer Geschwindigkeit von etwa 1 Meter pro Jahrhundert anhält.

Hypothesen zu stützen scheinen. Man erinnere sich, daß das Nordpolgebiet, einst ein großer Ozean, während des Känozoikums ein ringsum abgeschlossenes Binnenmeer war. Der Südpol, der sich zuvor in Meereshöhe befand, wurde damals durch die Kontraktionen der antarktischen Kontinentalscholle um ein beträchtliches Stück angehoben.

Wir können also eine Reihe von Ursachen für die Vergletscherung annehmen, die sich von der Kreidezeit bis zum Pleistozän immer stärker auswirkten: die Hebung der Kontinente, die ungünstige Position der Pole und eine drastische Reduzierung flacher Binnenmeere. Unter derartigen Bedingungen könnten die von Milanković angeführten Ursachen ganz beträchtlich sozusagen zur „Auslösung" der ersten Eiszeit beigetragen und damit den Rhythmus der einzelnen Vereisungen und Zwischeneiszeiten bestimmt haben.

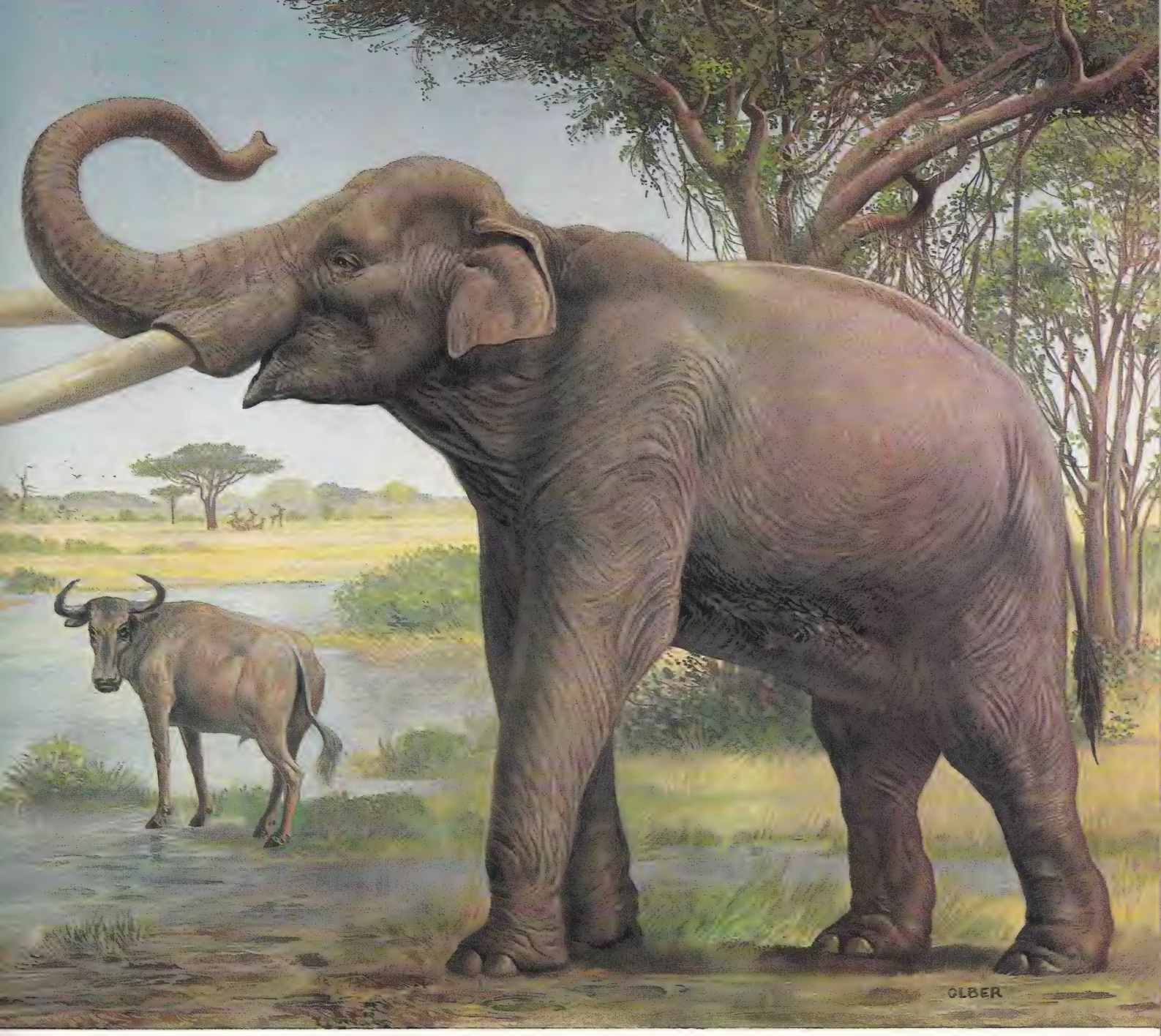
Ungeachtet der gewiß sehr interessanten Frage nach den Ursachen ist die Eiszeit des Pleistozäns auf jeden Fall von erheblichem Interesse für die Erforscher der Geschichte des Lebens auf der Erde, weil diese Eiszeit bedeutsame Auswirkungen auf die Lebewesen hatte. Während des Pleistozäns waren die Tiere und die Pflanzen zu wiederholten Malen ökologischen Krisen ausgesetzt, die mit den großen Krisen zwischen Karbon und Perm vergleichbar sind. Es kam auch hier in der Folge zu großen Tierwanderungen von Norden nach Süden und von Süden nach Norden, entsprechend dem jeweiligen Wechsel der klimatischen Bedin-

Rechte Seite: Der Sognefjord in Norwegen. In den Fjorden sinkt der Wasserspiegel als Folge der allmählichen Anhebung Skandinaviens langsam ab.

gungen. Manche Populationen starben auch ganz aus, während andere besonders gut gediehen und sich weiterentwickelten.

Die Wanderzüge dieser Tiere waren oft seltsam und verwirrend. So tummelten sich z. B. während der letzten Zwischeneiszeit, die vor der letzten Ausdehnung des Eises lag, Löwen, Elefanten und Flußpferde an den Ufern der Themse in dem Gebiet, wo heute London liegt. Andererseits wagte sich während der letzten Phase des Vordringens der Eiskappen der nordische Riesenalk (Alca impennis; vor kurzem ausgestorben) bis nach Süditalien an die Spitze von Apulien vor, das heute von Weinbergen und Olivenhainen überzogen ist.

Damit haben wir unsere allgemeine Beschreibung des Känozoikums abgeschlossen. Der Leser hat erlebt, wie sich vor seinen Augen das



großartige Drama der eigentlichen Säugetierevolution entfaltet hat. Solchermaßen bereichert, wird er das, was in den folgenden Kapiteln beschrieben ist, leichter verstehen.

Rekonstruktion der Landschaft in der Gegend von London während der letzten Zwischeneiszeit; von links nach rechts: ein paar Nilpferde (Hippopotamus amphibius), ein Auerochse (Bos primigenius) und ein Altelefant (Palaeoloxodon antiquus). Im Hintergrund einige Hirsche und Löwen.

Die explosive Vermehrung der Säugetiere zu Beginn des Känozoikums

Die Triumphstraße beginnt im Paleozän

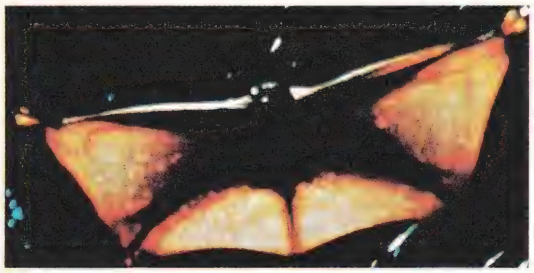
Die Krise der Kreidezeit hatte die Ebenen, Täler und Gebirge von Grund auf umgewandelt. Zu Beginn des Känozoikums war das Gewimmel der Reptilien aller Größen fast völlig verschwunden. Wo der Boden einst unter den Tritten der Ankylosaurier und der galoppierenden Triceratopsherden gebebt hatte, herrschte nun eine fast feierliche Stille, die nur durch das Rauschen des Windes unterbrochen wurde. In den Sümpfen und Wäldern gab es zwar noch immer Reptilien: Krokodile und boa- oder pythonähnliche Schlangen sowie riesige amphibische Eidechsen wie den ca. 2,40 m langen *Champsosaurus;* aber das alles war nichts im Vergleich mit früher!

In dieser wie ausgefegt erscheinenden Welt traten nun die Säugetiere immer mehr in den Vordergrund. Sie wagten sich jetzt immer öfter aus ihren Baumhöhlen, Felsspalten oder Bodenlöchern heraus, in denen sie ängstlich Zuflucht gesucht hatten. Auf Grund evolutionärer Neuerungen, die bis dahin unterdrückt worden waren, nahmen ihre Anzahl und ihr Artenreichtum in schwindelerregendem Tempo zu. Sie wurden darüber hinaus jetzt größter und paßten sich auf vielerlei Weise an ihre Umwelt an. Sie konnten jetzt zahlreiche ökologische Nischen erobern, bei denen früher für sie „Zutritt verboten" gegolten hatte. Die Säugetiere hatten sich nunmehr aufgemacht, die Herrschaft über unseren Planeten anzutreten. Ihre wahrhaft evolutionäre Explosion erlebten sie dann im Paleozän.

Die Multituberculata (Multituberkulaten) und fast sicher auch die unbekannten Vorfahren der Kloakentiere (die, wie wir bereits sagten, fossil nirgends nachgewiesen sind) hatten beide das Hinscheiden der übrigen urtümlichen Säugetiere überlebt. Unter den am besten bekannten Multituberkulaten des Paleozäns können wir den kleinen *Ptilodus* aus Nordamerika und den *Taeniolabis* (ebenfalls ein Bewohner Nordamerikas) erwähnen. Letzterer war mit Ferkelgröße der Riese dieser Gruppe. Die Beuteltiere und die Plazentatiere gediehen Seite an Seite mit diesen hartnäckig Überlebenden, wobei die Plazentatiere am stärksten von der nun folgenden explosiven stammesgeschichtlichen Entwicklung betroffen waren.

Säugetiere des Paleozäns im Gebiet von Nordamerika. Oben ein Planetetherium, das wie die heutigen Riesengleitflieger durch Ausbreiten der Beine eine Flughaut entfaltet, die einen Gleitflug ermöglicht. Darunter zwei Multituberculata: links ein Taeniolabis, der als Riese dieser Gruppe angesehen wird, und rechts der kleinere Ptilodus.

Ein weiblicher Philippinengleitflieger (Cynocephalus volans), der sein Junges zwischen den Falten seiner Flughaut festhält. Wenn die Mutter von Baum zu Baum gleitet, drückt sie ihr Junges fest an den Bauch. – Unten ein Philippinengleitflieger im Gleitflug.

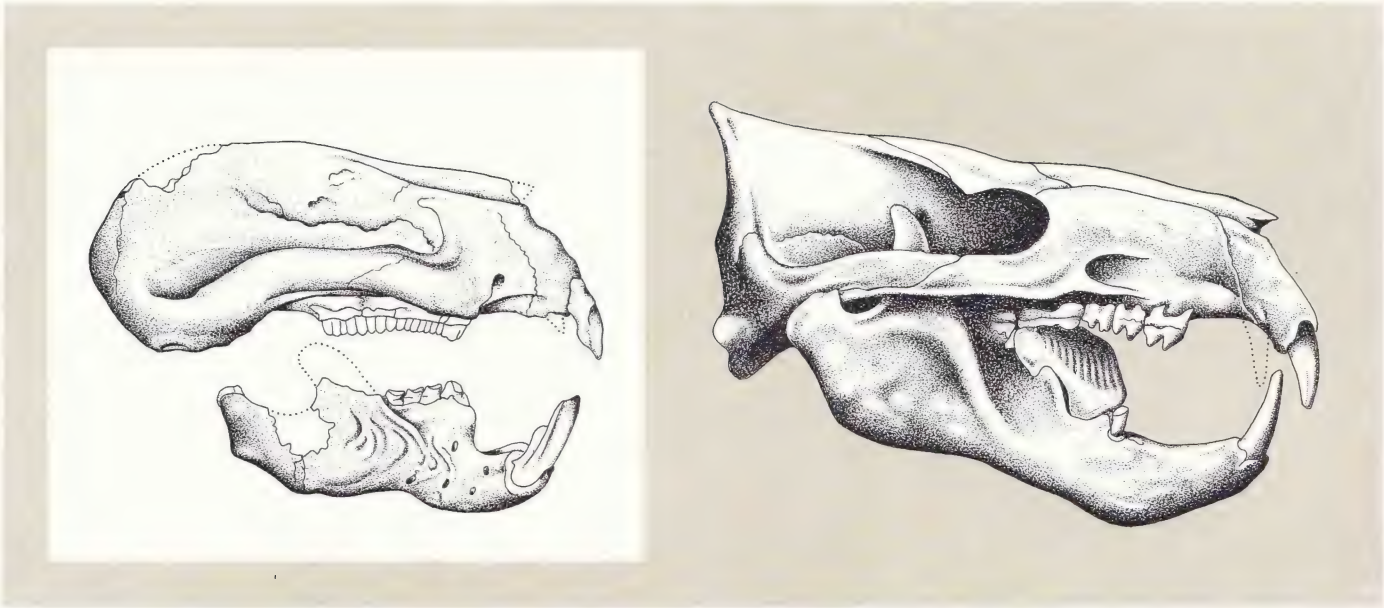


Die Säugetiere des Paleozäns

Kontinentale Ablagerungen des Paleozäns sind hauptsächlich in Nordamerika zu finden. Daher beschränkt sich unser Wissen über die Plazentatiere dieses Zeitalters in der Hauptsache auf deren nordamerikanische Vertreter. Nach den spärlichen Funden in Europa und Asien zu schließen, hat es jedoch den Anschein, daß die Tierwelt Nordamerikas Merkmale aufwies, die sie mit den Bewohnern aller nördlichen Gebiete gemeinsam hatte. Das ist verständlich, wenn wir an die (bereits erwähnte) Landbrücke zwischen Nordamerika und Europa zu Beginn des Känozoikums denken.

Wälder voller tropischer Pflanzen wie Palmen und Brotfruchtbäume wuchsen und gediehen im Paleozän in den Ebenen Amerikas und an den Küsten der riesigen Binnenseen, die von den Rocky Mountains umgeben waren. Durch das üppige Pflanzendickicht huschten verschiedene Insektenfresser, so z. B. das *Prodiacodon,* eine Art primitiver Igel, der bereits fast alle Merkmale seiner Ordnung in sich einschloß. Andere kleine und merkwürdige Lebewesen wie das *Planetetherium* segelten von einem Waldbaum zum anderen, wozu sie eine breite Flughaut benutzten, die sie seitlich am Körper zwischen ihren Beinen ausspannen konnten. Es waren Vertreter der Ordnung *Riesengleitflieger (Dermoptera).*

Andere Säuger dieser Zeit waren die den Insektenfressern nahestehenden Taeniodonta und Tillodontia, die allerdings noch vor dem Ende des Eozäns ausstarben. Die *Taeniodonta* waren Pflanzenfresser und relativ groß. Tatsächlich war der Schädel eines ihrer bekanntesten Vertreter, des *Psittacotheriums,* fast 25 cm lang. Die *Tillodontia* jedoch waren ihrer Bezahnung nach nagetierähnlicher und erreichten im Eozän beträchtliche Größen. Gegen Ende des Paleozäns gab es auch bereits echte *Nagetiere,* außerdem *Hasenartige (Lagomorpha),* die heute durch die beiden Familien Hasen und Pfeifhasen nahezu weltweit vertreten sind.



Schädel eines Taeniolabis (links) und eines Ptilodus (rechts). Aus diesen Zeichnungen geht hervor, daß das Gebiß der Multituberculata bereits echt spezialisiert war und daß diese Tiere durch ihre zwei langen Schneidezähne wie Nagetiere von heute ausgesehen haben müssen. Die Multituberculata, die erstmals im Jura auftraten, starben im Eozän aus; ihr Evolutionszweig brachte keine weitere Gruppe hervor.

All die Tiere, von denen soeben die Rede war, gehörten noch immer primitiven Gruppen an, die entweder ausstarben oder sich mehr oder weniger etablieren konnten, die jedoch in jedem Fall wenig spezialisiert waren. So unglaublich das klingen mag: Von solchen Tieren nahm der triumphale Entwicklungsweg seinen Anfang, der schließlich zum Menschen führte. Die Abtrennung von den primitiven Insektenfressern erfolgte schon sehr bald, vermutlich in der Mitte der Kreide. Es ist wirklich erstaunlich, wenn man sich vorstellt, daß diese Lebewesen, die zunächst der Spitzmaus oder dem Igel ähnelten, sich zu einem Zweig entwickelten, der das ungewöhnlichste Lebewesen aller Zeitalter hervorbringen sollte: den Menschen.

Unter den frühen Primaten des Paleozäns, die ja bekanntlich aus Insektenfressern hervorgegangen sind, ist der *Plesiadapis* zu nennen, ein kleines Geschöpf, nicht größer als eine Katze. Er hatte einen langen Schwanz und gewiß auch ein dichtes Pelzkleid. Seine Zähne glichen bis auf die nagetierähnlichen Schneidezähne noch stark denen der Insektenfresser. Der Plesiadapis kletterte auf Bäume und war vermutlich nachtaktiv. Seine Vorderfüße allerdings begannen bereits eine bemerkenswerte „Hand"funktion anzunehmen, was sich später noch steigern sollte. Ziemlich ähnliche Tiere, die Spitzhörnchen (Tupajas),

Die Spitzhörnchen (Tupajas), die primitivsten Primaten unserer Zeit, sind dem Plesiadapis des Paleozäns sehr ähnlich. Sie haben in jeder Hinsicht denselben Körperbau, bewohnen denselben Lebensraum und haben dieselben Merkmale beibehalten.

sind noch heute im Gebiet zwischen Indien und dem Pazifik anzutreffen. Die fossilen Überreste des Plesiadapis dagegen stammen alle aus Europa oder Nordamerika.

Zu ihrer Sicherheit erkletterten diese frühen Primaten die höchsten Zweige der Bäume Aber auch dort waren sie nicht sicher vor räuberischen Zeitgenossen: primitiven „Raubtieren" von geringer Größe und länglicher Körpergestalt, die ausgezeichnet klettern konnten. Diese „Raubtiere" waren nicht dieselben wie diejenigen, welche im Dickicht auf ihre Beute lauerten oder über die offenen Lichtungen huschten (auch wenn diese ebenfalls z. T. gute Kletterer waren).

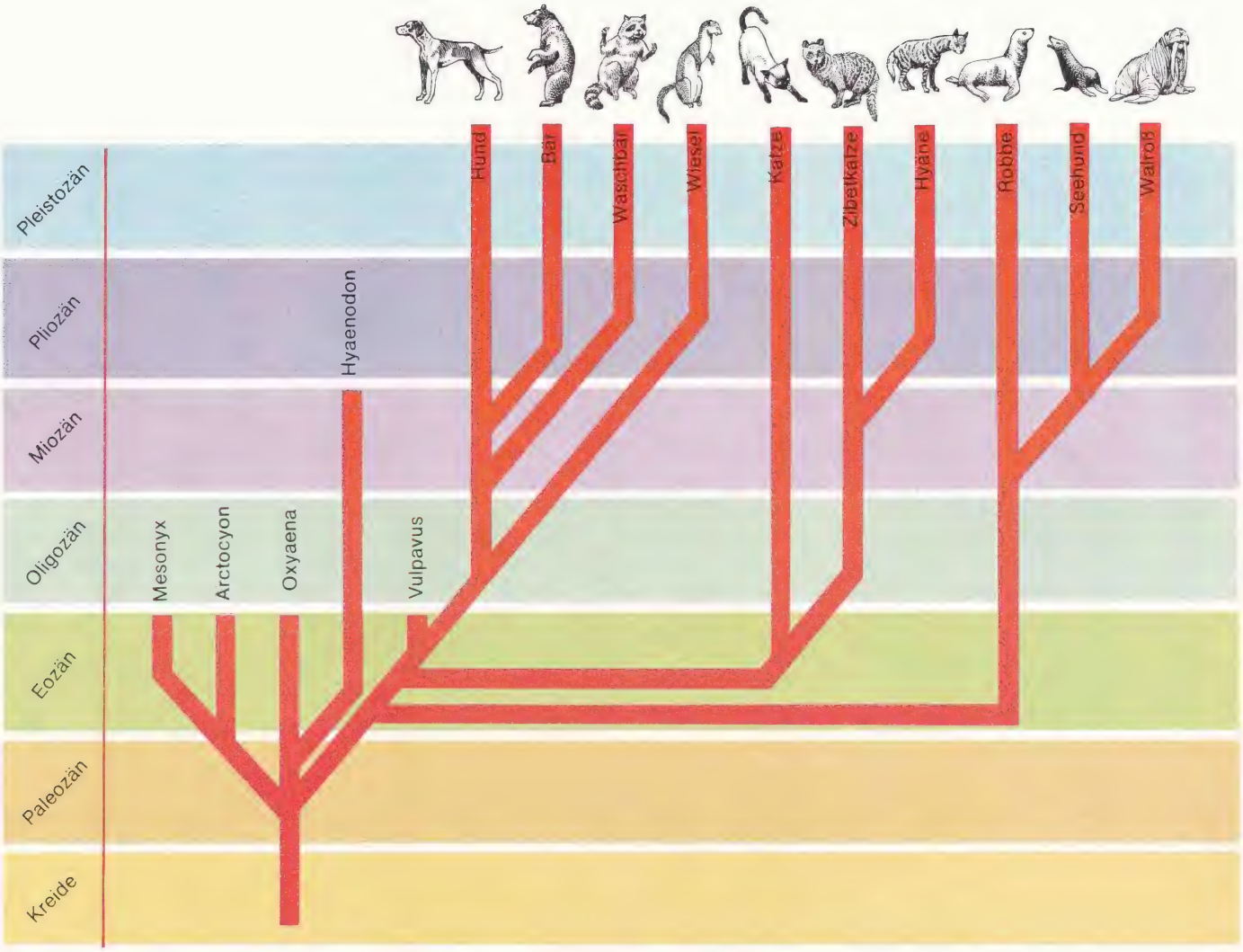
Die Zoologen unterscheiden streng zwischen solchen räuberisch lebenden Tieren der erstgenannten Art und den echten fleischfressenden *Raubtieren (Carnivora).* Bei den ersteren war das Gebiß sicher nur wenig spezialisiert, so daß sich viele von ihnen zur Not auch als Allesfresser durchschlagen konnten. Die letzteren dagegen gehörten zur Ordnung der *Urraubtiere (Creodonta),* die heute ausgestorben ist. Damals war sie durch Säugetiere wie das bereits erwähnte *Deltatherium* vertreten. Im oberen Paleozän gab es dann noch die angriffslustige *Oxyaena* aus Nordamerika und Asien, die im Erscheinungsbild mit unseren heutigen Raubkatzen vergleichbar ist.

Zusammen mit den Urraubtieren breitete sich die Säugetiergruppe der *Urhuftiere (Condylarthra)* aus, eine sehr umfangreiche Ordnung, aus der sich später alle Vertreter der Huftiere (Ungulata) entwickelt haben. Wie bei den Urraubtieren waren auch die Merkmale der Urhuftiere noch sehr primitiv, wodurch sie nicht nur den Urraubtieren, sondern auch den Insektenfressern nahestanden. Zu den Urhuftieren, deren Gestalt man als noch „unentschieden" beschreiben könnte, gehörten das amerikanische *Claenodon* und der europäische *Arctocyon,* beide so groß wie Bären. Sie waren während des mittleren und oberen Paleozäns weit verbreitet. Hinzu kommt als weiterer typischer Vertreter dieser Ordnung das *Tetraclaenodon* aus Nordamerika, ein kleines Tier mit dem Körper einer Katze und einem Kopf, der entfernt an den Kopf eines Pferdes erinnerte.

Nicht zuletzt die damals vorhandene üppige Vegetation trug wesentlich dazu bei, daß sich aus den Condylartha bald echte Huftiere entwickelten. Gegen Ende des Paleozäns breiteten sich sowohl in Amerika als auch in Europa Herden von massigen Pflanzenfressern aus und bevölkerten die Waldlichtungen und die Ufer der Flüsse (an denen der Pflanzenbewuchs besonders dicht war), Sümpfe und stehenden Gewässer. Alle Huftiere dieser Zeit gehörten den beiden heute ausgestorbenen Gruppen *Pantodonta* und *Dinocerata* an. Die erstere war durch das etwa schafgroße *Pantolambda* und das ca. 2,40 m lange *Barylambda* vertreten, die beide in Nordamerika zu Hause waren. Sie hatten jeweils einen kleinen Kopf und einen langen und schweren Schwanz.

Das Eozän und das Ende der Allotheria

Im *Eozän,* das auf das Paleozän folgte, war die Erde mit tropischen und subtropischen Wäldern überzogen, die von einer artenreichen Säugetierfauna bevölkert waren. Der äußeren Gestalt nach waren diese Lebewesen immer noch etwas primitiv, und ihr Gehirn war im allgemeinen klein; insgesamt jedoch waren sie weniger urtümlich als ihre Vorfahren aus dem Paleozän. Sie waren vielmehr dabei, sich weiter

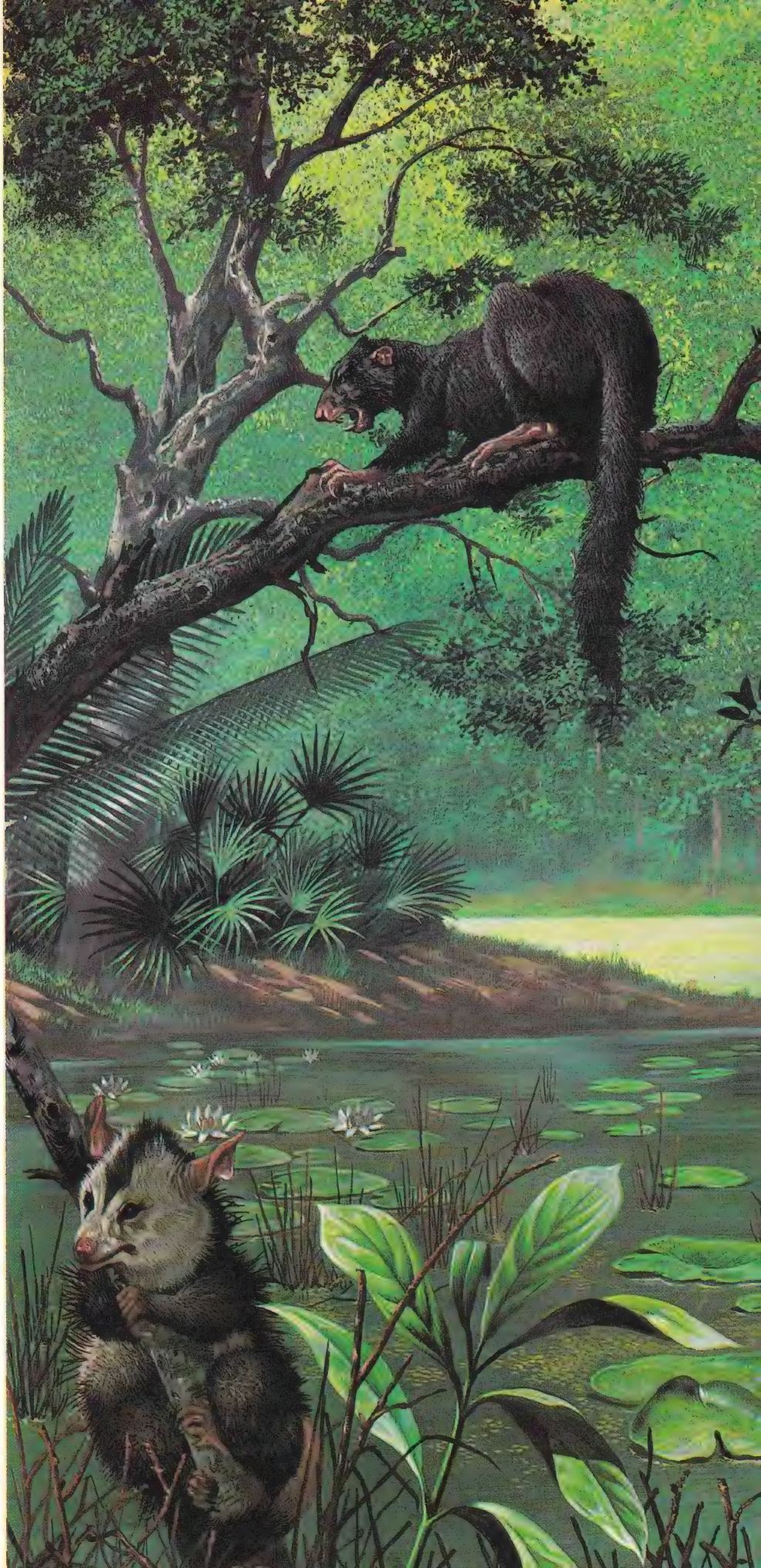


Die Entwicklung der Raubtiere (Carnivora) seit dem Paleozän.

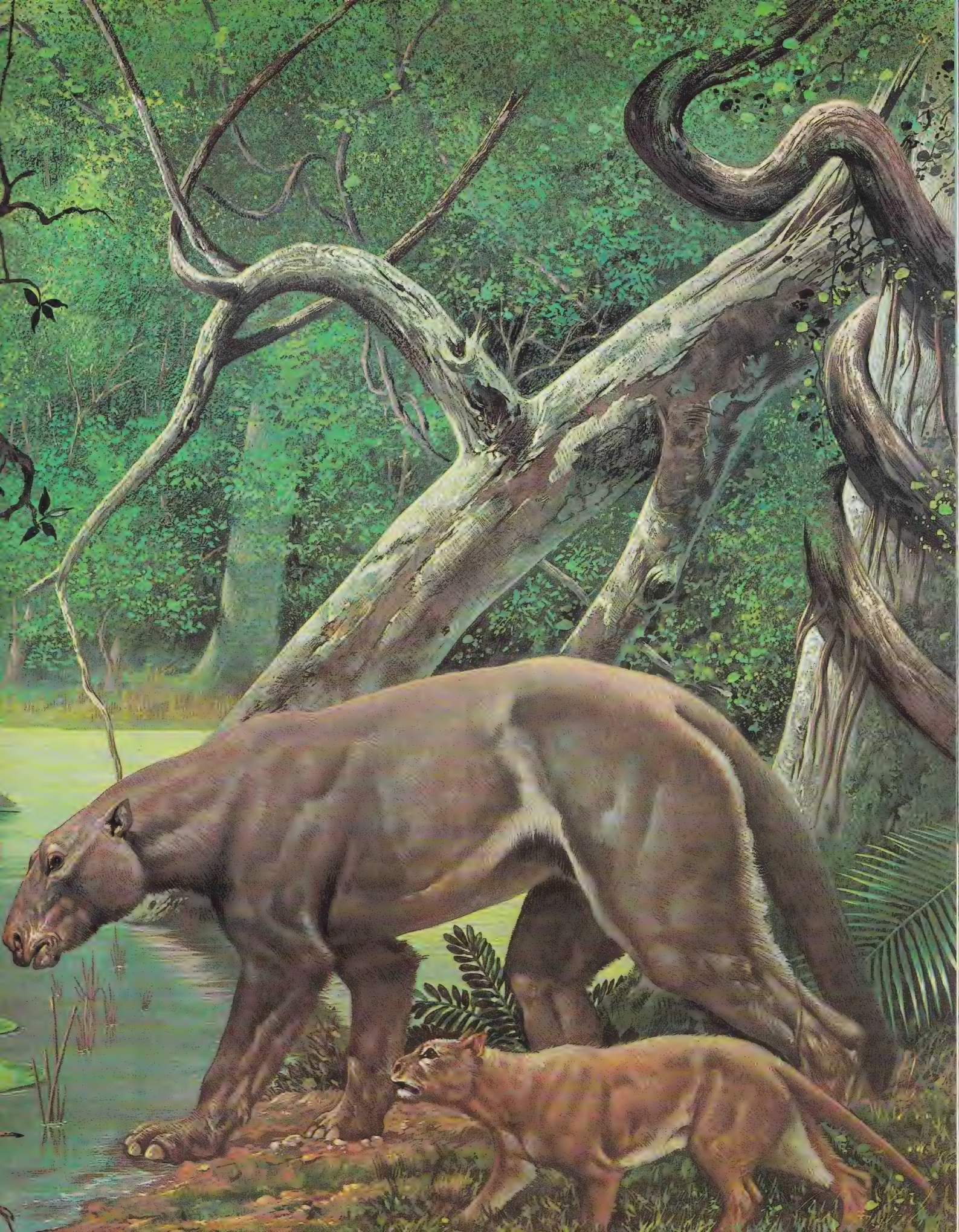
auszudifferenzieren und Formen hervorzubringen, die wir bereits als „modern" bezeichnen können.

Beträchtliche fossile Überbleibsel von ihnen wurden nicht nur in Nordamerika, sondern auch in Europa, Asien und Südamerika gefunden. Daher wissen wir über die Säugetiere des Eozäns mehr als über ihre Verwandten aus dem Paleozän. Wir wissen z. B., daß zu Beginn dieses Zeitalters viele Formen in den nördlichen Gebieten allgemein verbreitet waren, was darauf hinweist, daß zwischen Amerika und Eurasien immer noch eine Landbrücke bestanden haben muß. Diese Landbrücke muß später, im mittleren Eozän, verschwunden sein, so daß in der Tierwelt durch räumlich getrennte Entwicklungen unterschiedliche Formen auftraten. Im oberen Eozän tauchte die Landbrücke dann wieder auf, und es kam zu Vermischungen zwischen den geographisch getrennten Populationen.

Wir wissen weiterhin, daß Südamerika damals immer noch völlig isoliert war und eine eigene Fauna entwickelte, die in vielerlei Hinsicht außergewöhnlich war. Allerdings wissen wir nicht, wie die Bedingungen in der australischen Region (Notogäa) aussahen, einem Gebiet, das



Säugetiere des Paleozäns in Nordamerika. Auf dem Baum sitzt ein Plesiadapis, ein spitzhörnchenähnlicher Primat; unten links ein Opossum; rechts zwei massige Pantodonten, ein Barylambda (das größere der beiden) und ein Pantolambda.



genauso isoliert war wie Südamerika und vielleicht nur für Beuteltiere bewohnbar war.

Mit wenigen Ausnahmen, von denen einige noch jederzeit eliminiert werden können, falls weitere Fossilien gefunden werden, waren im Eozän alle heutigen Säugetierordnungen vertreten. Andererseits war es das Schicksal verschiedener älterer Ordnungen wie der Taeniodonta und der Tillodontia sowie anderer, die mit den primitiveren Huftieren im Zusammenhang standen, jetzt für alle Zeiten von der Bühne des Lebens abtreten zu müssen und moderneren Formen Platz zu machen. Ein markantes Beispiel hierfür ist die Unterklasse der Allotheria, die sich zusammen mit den Multituberculata während des frühen Känozoikums weiterentwickelt hatten und nunmehr vollständig untergingen.

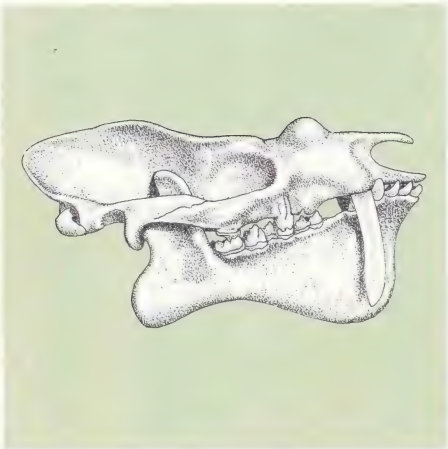
Man beachte die außergewöhnliche Ausdauer dieser Lebewesen. Die Multituberculata hielten sich immerhin vom oberen Jura bis ins obere Eozän, so daß wir ihre Lebensspanne auf ungefähr 100 Millionen Jahre veranschlagen können, also auf eine außergewöhnlich lange Zeit, was beweist, wie gut angepaßt ihre nagetierähnlichen Merkmale waren.

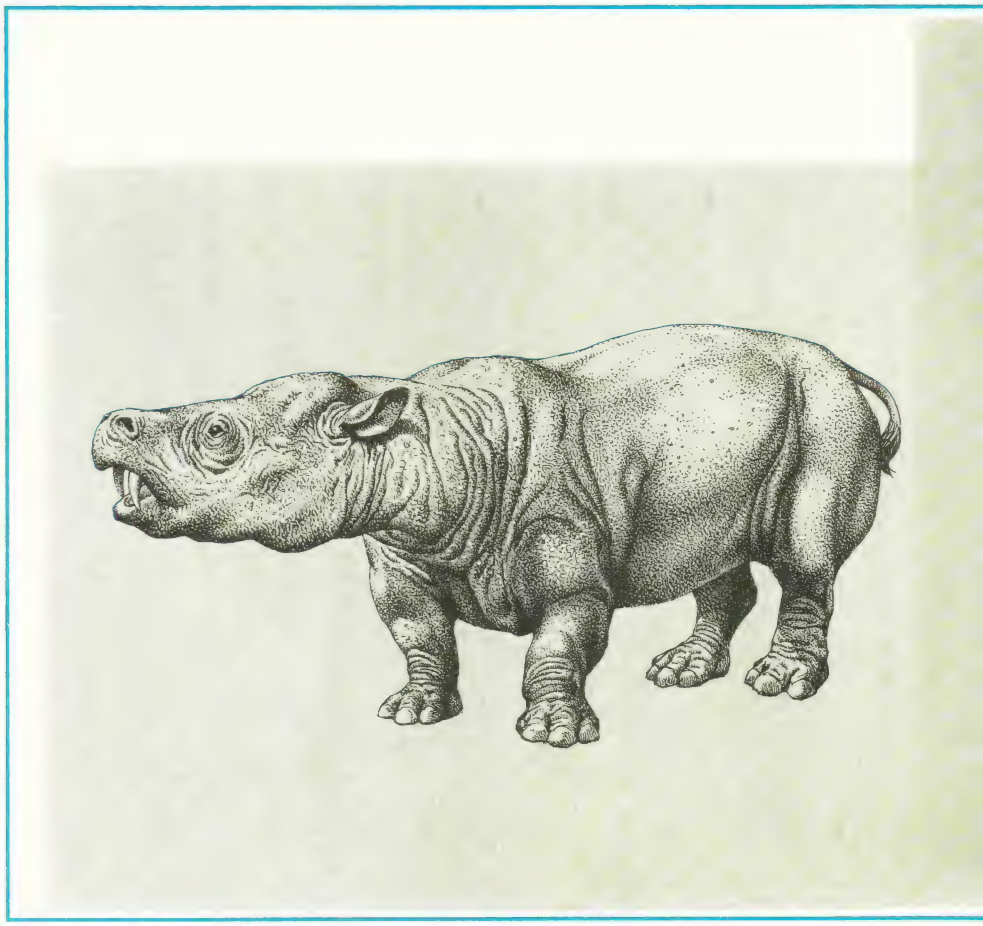
Riesige Huftiere des Eozäns

Die hoch aufgeschichteten, vielfarbigen Ablagerungen, die sich zwischen den Höhenzügen der Rocky Mountains ausdehnen und Zeugnis ablegen von der langen Geschichte der Seen des Känozoikums, berichten uns auch einiges über Säugetiere: über merkwürdige Riesen-

Oben: Schädel eines Tillotheriums, eines Säugetiers des Eozäns aus der Ordnung der Tillodontia.

Unten: Der Schädel eines Bathyopsis, eines weiteren Amblypoden des Eozäns. Seine messerartigen Reißzähne müssen dazu gedient haben, Wasserpflanzen auszureißen.



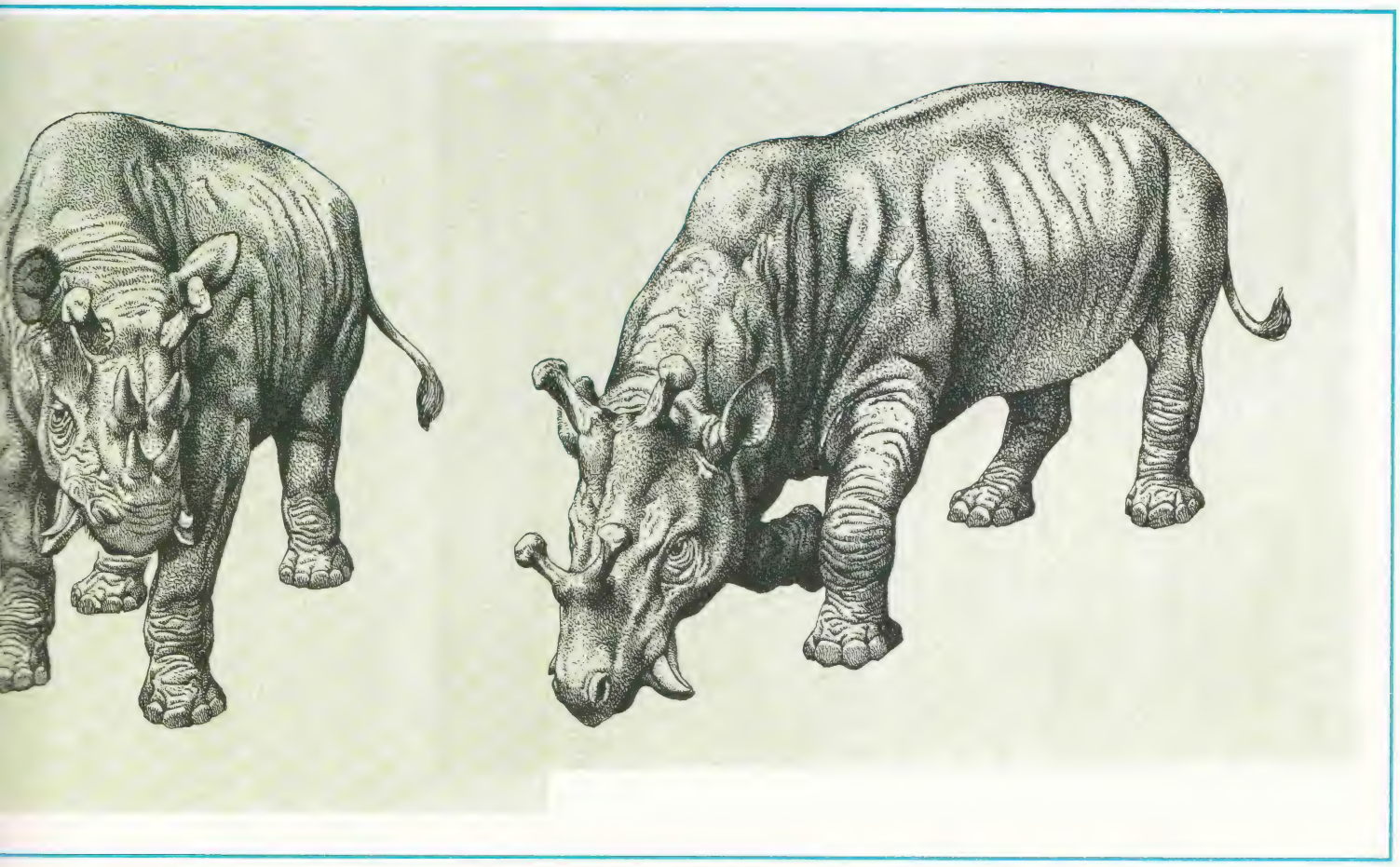


tiere und über Plazentatiere, die scharenweise an den Strand der Seebecken hinabzogen. Unter den letzteren befanden sich in erster Linie primitive Huftiere, die die üppige Vegetation der Flachwasserzone abweideten und im Schlamm herumplanschten.

Den Anfang macht das *Coryphodon,* ein Panthodontavertreter, der dem Barylambda aus dem oberen Paleozän auf den Fersen folgte und sich in Nordamerika und Europa weit verbreitete. Es war genau so groß wie das Barylambda (2,40 m), unterschied sich jedoch im übrigen beträchtlich von diesem, hauptsächlich deswegen, weil sein Schwanz schmal und kurz war, während sein Kopf groß und gut entwickelt war, ähnlich wie der eines Flußpferds, mit dem es viele Lebensgewohnheiten gemeinsam hatte. Es hatte lange, scharfe Eckzähne, die vermutlich (besonders die oberen) aus dem Maul herausragten. Seine Beine waren elefantenartig, was darauf hindeutet, daß das Coryphodon wohl ein schwerfälliges Tier war.

Im mittleren Eozän gab es bereits keine Coryphodons mehr, die am Ufer der großen Seen weideten. An ihrer Stelle lebten dort jetzt riesige *Dinocerata:* das massige *Uintatherium* z. B., das so groß war wie das heutige afrikanische Nashorn, kraftvoll gebaut und mit Hörnern und Hauern bewehrt. Auf seinem Kopf standen sechs hornige Auswüchse (zwei über der Nase, zwei über den Augen und zwei auf der Stirn), die vermutlich aussahen wie die Hörner der Giraffe und wohl wie diese mit

Ein Vergleich verschiedener Amblypoden: von links nach rechts: das Coryphodon, das gegen Ende des Paleozäns auftrat; dessen Nachfolger im mittleren Eozän, das besser angepaßte Uintatherium; ganz rechts der Eobasileus des oberen Eozäns.



Haut bedeckt waren. Auch beim Uintatherium ragten die oberen Eckzähne, in lange, scharfe Hauer umgewandelt, aus dem Maul hervor. Dieses merkwürdige Lebewesen hatte einen langen und abgeflachten Kopf, an dem unter Hornwülsten tiefliegende, kleine Augen saßen, wodurch es in Verbindung mit den anderen beschriebenen Merkmalen ein abstoßendes Aussehen gehabt haben muß.

Das Uintatherium war 4 m lang und etwa 2,10 m hoch. Sein Rücken war kräftig gewölbt, seine Beine waren säulenförmig ausgebildet, ähnlich wie bei unserem heutigen Elefanten. Seine Nahrung bestand aus Sumpfpflanzen, die es mit seinen langen Eckzähnen aus dem Boden riß und mit seinen eigentümlichen Backenzähnen zermahlte. – Im oberen Eozän folgte dem Uintatherium der ähnliche *Eobasileus,* der ebenfalls die Seeufer in den Rocky Mountains bevorzugte.

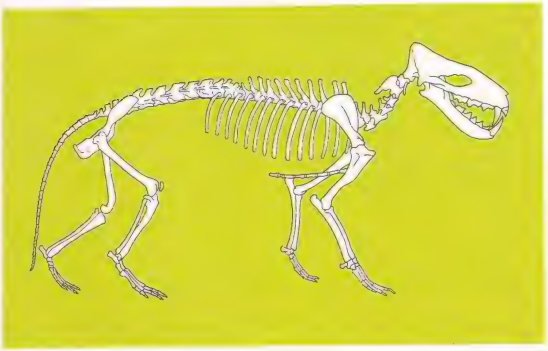
Sowohl die Pantodonta als auch die Dinocerata starben gegen Ende des Eozäns bzw. zu Beginn des Oligozäns aus. Es waren merkwürdige Tiere von unglaublich wildem und primitivem Aussehen. Zusammen bildeten sie die Gruppe der *Amblypoda* („Schwerfüßer").

Die Urhuftiere und Urraubtiere des Eozäns

Während die riesigen Amblypoda auf der Bühne des Lebens auftauchten und auch wieder verschwanden, genossen die Urhuftiere ihre letzten „ruhmreichen" Stunden. Der bekannteste Vertreter dieser Ordnung im Eozän war zweifellos der *Phenacodus,* der über 1,50 m lang war. In Amerika war er im frühen Eozän weit verbreitet. Im unteren und mittleren Eozän war er auch in Europa zu finden. An jedem Fuß hatte er 5 Zehen mit kleinen Hufen an den Endgliedern, was bedeutet, daß er noch nicht endgültig auf die Huftiere ausgerichtet war. Er hatte aber bereits die (wenn auch noch primitiven) Zähne eines Pflanzenfressers. Jedenfalls stellt er eine Übergangsform zu den Urhuftieren dar.

Erinnern wir uns daran, daß verschiedene Merkmale bei den Condylartha bestimmte Tendenzen entwickelten und sogar bärenähnliche Vertreter hervorbrachten. Diese Entwicklungstendenz ließ im oberen Eozän Lebewesen entstehen, die Hunden und Wölfen ähnlich waren, wie zum Beispiel den *Mesonyx* aus Nordamerika. Als krönender Höhepunkt erschien schließlich im oberen Eozän in der Mongolei und in Ostasien der *Andrewsarchus,* ein riesiges Raubtier von 4,40 m Länge und 2 m Höhe. Von der äußeren Erscheinung her hatte er entfernte Ähnlichkeit mit einem Wolf von unglaublichen Proportionen, während seine Zähne denen der Karnosaurier des Mesozoikums ähnelten.

Unten: Das Skelett eines Hyaenodons, eines Vertreters der Creodonta, der im oberen Eozän und im unteren und mittleren Oligozän lebte.



Während die Urhuftiere schon früh im Oligozän ausstarben, konnten sich die Urraubtiere, die ihre größte Expansion während des Eozäns erlebt hatten, noch eine Weile halten. Außer der bereits im Zusammenhang mit dem Paleozän erwähnten Oxyaena gab es da u. a. noch das muskulöse *Hyaenodon,* das 1,20 m lang war, ferner das wendigere *Tritemnodon.* Das Hyaenodon war ein Spätankömmling, der erst gegen Ende des Eozäns auftrat und sich in der Folgezeit weit über Europa und Amerika verbreitete.

Die echten Raubtiere standen zu dieser Zeit noch etwas im Schatten dieser Lebewesen. Aber einige Zweige von ihnen (katzen-, hunde- und marderähnliche Tiere) waren gleichwohl schon im Begriff, sich aus primitiveren Formen weiterzuentwickeln. Schritt um Schritt sollten die neuen Raubtiere die ökologischen Nischen in Besitz nehmen, die bisher die Urraubtiere eingenommen hatten, bis diese ganz und gar überwältigt waren und vom Schauplatz verschwanden.

Paarhufer und Unpaarhufer

Von den verschiedenen Ordnungen der Huftiere, die sich im Paleozän aus den Urhuftieren entwickelt hatten, sind zwei Gruppen für uns von besonderer Bedeutung, weil manche ihrer Nachfahren dem Menschen heute als Haus- und Nutztiere dienen. Es sind dies die sog. *Paarhufer* (*Artiodactyla;* u. a. mit Schwein, Flußpferd, Reh und Rind) und die sog. *Unpaarhufer* (*Perissodactyla;* u. a. mit Pferd, Tapir und Nashorn). Bei den Vertretern der ersten Gruppe liegt die Gliedmaßenachse zwischen der dritten und vierten Zehe jedes Fußes, wobei diese Zehen stärker entwickelt sind als die anderen. Bei den Vertretern der zweiten Gruppe geht diese Achse dagegen durch die dritte Zehe, die in Fällen extremer Spezialisierung (wie beim Pferd) bereits allein den ganzen Fuß bilden kann.

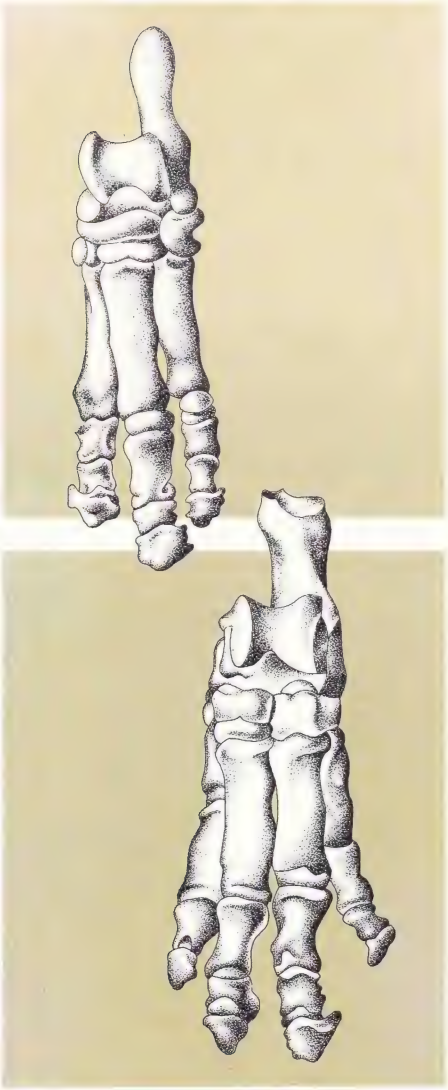
Der Andrewsarchus aus der Ordnung Condylarthra, das größte Raubtier unter den Landsäugern aller Zeiten, das in Asien gegen Ende des Eozäns lebte.

Unten: Das Fußskelett eines Unpaarhufers (oben) und eines Paarhufers (unten).

Zu Beginn des Eozäns gab es nur kleine und primitive Paarhufer, die immer noch ein unvollständig spezialisiertes Gebiß aufwiesen. Die Wissenschaft hat diese als zu der inzwischen ausgestorbenen Gruppe der *Palaeodonta* gehörig (wörtlich etwa „mit altertümlichen Zähnen") klassifiziert. Doch entwickelten sich verschiedene Zweige aus diesen Ursprüngen derart rasch und in einem solchen Umfang, daß es im oberen Eozän bereits Tiere gab, die dem Wildschwein, dem Flußpferd oder dem Kamel von heute ähnlich waren. Eine Beschreibung solch früher Artiodactyla findet man weiter hinten im Kapitel über das Oligozän, einen Zeitabschnitt, in dem die Paarhufer ihre weiteste Verbreitung fanden.

Die Unpaarhufer waren den Paarhufern in der Entwicklung voraus. Es gab bereits im unteren Eozän Tiere, die mit dem Pferd und dem Tapir verwandt waren; dann folgten größere, die dem heutigen Nashorn ähnelten, und schließlich erschien das Nashorn selbst. Auf diese Art und Weise wurden Nordamerika, Europa und Asien allmählich durch Herden von Pflanzenfressern aller Arten bevölkert, und über weite Gebiete hinweg muß die Landschaft etwa so ausgesehen haben wie heute die großen Naturschutzparks in Afrika.

Die „Pferde" von Paris



Wenn man von der Vorhalle in den Saal mit den riesigen prähistorischen Skeletten im Museum für Paläontologie in Paris gelangt, erblickt man eine Steinplatte, aus der ein vollständiges Skelett herauspräpariert wurde, das man auf den ersten Blick für ein Pferdeskelett halten würde. Es liegt da in derselben Haltung auf dem Stein, in der es vor über 40 Millionen Jahren verendete: mit umgewandtem Kopf. Dieses Skelett wurde in einer Höhle in einer Schicht des oberen Eozäns unweit von Paris gefunden und stellt einen ausgestorbenen Unpaarhufer des frühen Oligozäns dar. Obwohl dieses als *Palaeotherium* klassifizierte Tier noch kein richtiges Pferd war, hatte es doch große Ähnlichkeit mit einem Pferd. Es ist das Ergebnis einer der ersten explosiven Entwicklungen der Säugetierevolution, von dem nichts weiter als ein paar versteinerte Knochen übriggeblieben sind.

Während des Eozäns war die Gegend von Paris zunächst eine Meeresbucht und das Mündungsdelta eines großen Stroms, an dessen Ufern eine üppige tropische Vegetation gedieh. Später war diese Gegend von Salzseen durchzogen, auf deren Grund sich Ton und Gips abgesetzt hatten. Um diese Seen herum muß die Landschaft etwa so ausgesehen haben wie einer der heutigen Naturparks in Afrika. Viele der zahllosen Säugetiere, die die Ufer dieser Salzseen damals bevölkerten, hinterließen, als sie verendeten, ihre Knochen im warmen Wasser der Seen, wo sie dann im Gips und kalkhaltigen Ton eingebettet wurden.

So kommt es, daß man zusammen mit dem Gips, den man aus den uralten Höhlen ausräumte, die einstmals auf dem Hügel von Montmartre und im Vorort Pantin vorhanden waren, einen reichhaltigen Schatz fossiler Knochen von Paarhufern und Unpaarhufern des oberen Eozäns zutage förderte. Als der große französische Naturforscher Georges Baron de Cuvier (1769–1832) sie zu Beginn des letzten Jahrhunderts untersuchte, wurden diese Überbleibsel berühmt, weil sie die ersten fossilen Überreste von Wirbeltieren waren, die mit rein wissenschaftlichen Methoden analysiert wurden.

Am bekanntesten unter diesen altertümlichen Säugern wurde das Palaeotherium, dessen Überreste am reichhaltigsten vertreten waren.

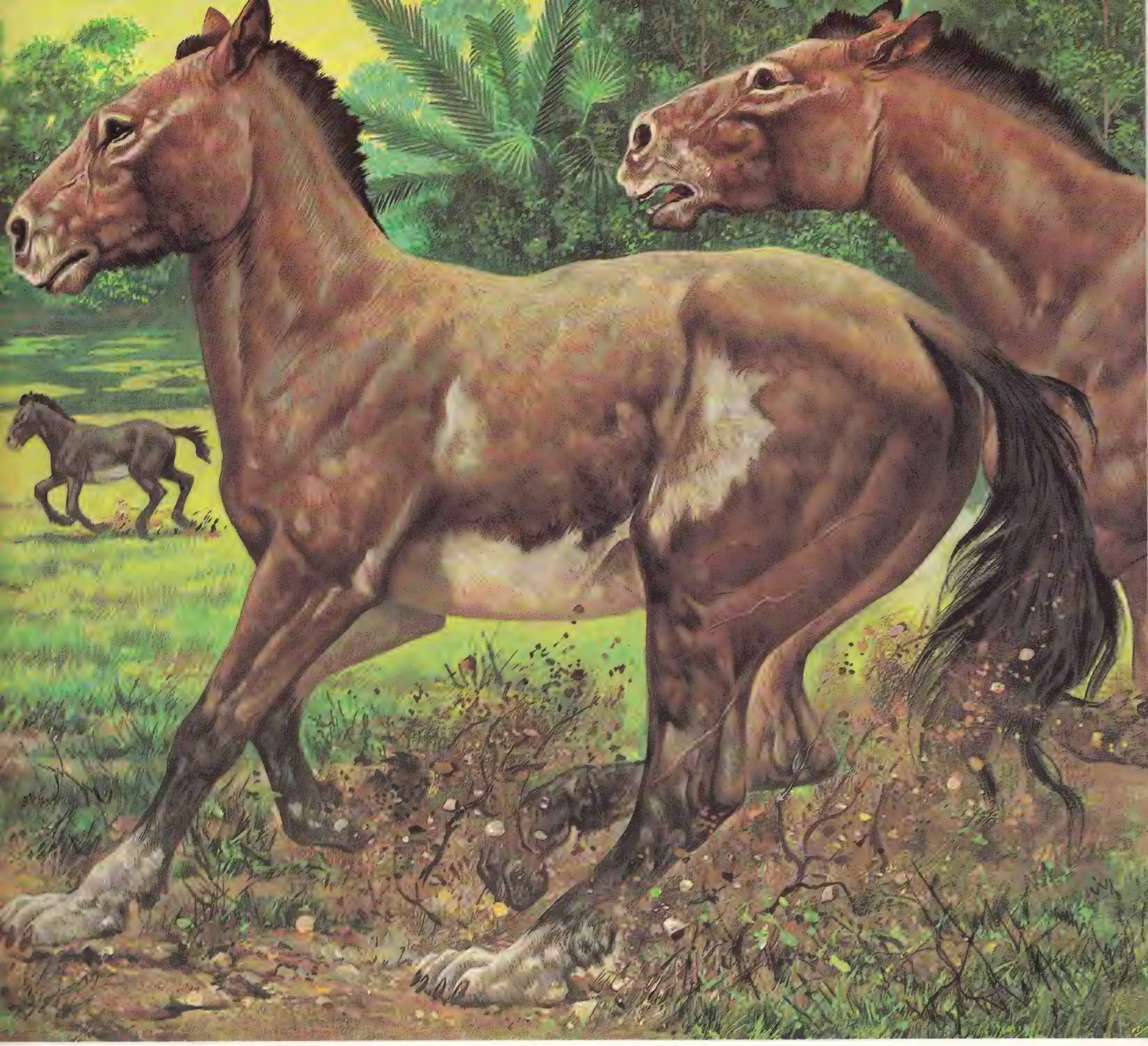
Links: Ein heutiger Paarhufer, das Flußschwein (Potamochoerus porcus), das in tropischen Wäldern Afrikas, mit Vorliebe in Gewässernähe, lebt und ausgezeichnet schwimmen kann.

Unten: Der Unpaarhufer par excellence, das Pferd. Als Produkt einer komplexen Evolution lebt das Pferd überall auf der Erde; leider sind viele Arten bereits ausgestorben.

Eine Herde von Palaeotherium und Lophiodon, die während des Eozäns in Europa lebten.

Allein im Ton von Montmartre entdeckte Cuvier sieben verschiedene Palaeotheriumarten. Das größte Exemplar erreichte fast Pferdegröße und hatte auch sonst eine verblüffende Ähnlichkeit mit einem Pferd, auch wenn alle Zehen seines Fußes auf dem Boden standen und sein Körperbau kräftiger war.

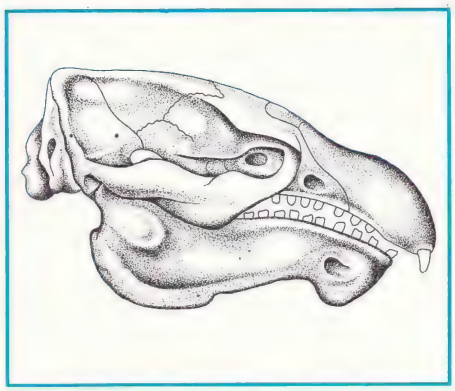
Ebenso weit verbreitet war während des „Gipszeitalters" auf dem Montmartre das *Lophiodon,* das die Größe eines Nashorns hatte und der Vorläufer der Tapire war, die programmgemäß erst im Oligozän auftreten sollten. Sowohl das Palaeotherium als auch das Lophiodon lebten nur in Europa, wo es riesige Herden von diesen beiden Tiergruppen gab.



Die Evolution der Titanotheriiden

Während sich das Lophiodon und das Palaeotherium in den Wäldern des heutigen Frankreichs ausbreiteten, waren die „Donnerpferde" (von denen wir bereits weiter vorn gelesen haben), d. h. die ehrfurchtgebietenden Titanotheriiden, dabei, sich im amerikanischen Westen weiterzuentwickeln. Ihr größter Vertreter, das *Brontotherium,* hatte sich (wie das Palaeotherium) ebenfalls von der Stammeslinie abgespalten, aus der später unser Pferd hervorgehen sollte, und erwies sich als sehr merkwürdiger Sproß.

Die Fortentwicklung der Titanotheriiden begann mit kleinen, etwa schafgroßen Tieren, darunter der *Eotitanops* des unteren Eozäns und der *Palaeosyops* des oberen und mittleren Eozäns. Beide waren



unbehornt, und ihre Köpfe sahen fohlenähnlich aus. Die guten Weidemöglichkeiten, die sie vorfanden, förderten ihre Vermehrung und Entwicklung über eine lange Generationsfolge hinweg, während der sie an Größe zunahmen und einen kräftigeren Körperbau erwarben.

Bereits im mittleren Eozän hatten einige ihrer Nachkömmlinge (wie der *Manteoceras*) die doppelte Ausgangsgröße erreicht. Obwohl ihr Kopf immer noch einen pferdeähnlichen Umriß hatte, begann sich bei ihnen bereits ein Knochenhöcker am Kopf herauszubilden, der sich später zu einem doppelten Horn entwickeln sollte. Während des oberen Eozäns entwickelten sich die Hörner bei Tieren wie dem *Protitanotherium.* Sie ragten jedoch nur geringfügig hervor, während der Kopf anfing, den abgeflachteren Umriß anzunehmen, wie er für das Brontotherium typisch ist.

Die Körperabmessungen dieser Tiere wurden jetzt allgemein größer, ihre Gliedmaßen wurden so stark wie Säulen, und jedes übrige Merkmal war Ausdruck unbändiger Kraft. Man kann sagen, daß jetzt die Giganten die Bühne des Lebens betreten hatten und fortan in riesigen Herden durch die Wälder und Ebenen des frühen Oligozäns streiften.

In der Zwischenzeit vollzog sich in Ostasien eine ähnliche Evolution, wenn auch die Formen etwas unterschiedlich waren. Seit Beginn des unteren Eozäns waren nämlich die kleinen Titanotheriiden auch nach Asien eingedrungen. Im oberen Eozän wurde auch Osteuropa von den Titanotheriiden besiedelt, wodurch die weltweite Vorherrschaft dieser Gruppe erwiesen ist.

Oben: Der Schädel eines Protosireniden, eines Vorfahren der heutigen Seekühe, der während des Eozäns lebte.

Die ersten Meeressäuger

Schritt für Schritt, in dem Maße, wie die Säugetiere unterschiedliche ökologische Nischen ausfüllten, eroberten sie sich neue Lebensräume, was zu einigen verblüffenden und komplexen Anpassungsvorgängen führte. Ein solcher Lebensraum war das Meer, zunächst im Bereich entlang der Küstenzonen, dann aber auch im Bereich der Hochsee. Man kann sagen, daß die Säugetiere ins Meer „zurückkehrten", wie das vor ihnen schon die Reptilien und die Lungenfische getan hatten. Die Rückkehr wurde von verschiedenen Gruppen in verschiedenen Wellen vollzogen, in deren Verlauf dann im einzelnen die Robben, Seekühe und Wale entstanden.

Die *Robben (Flossenfüßer, Pinnipedia)* sind Meeresraubtiere mit flossenartigen Extremitäten. Ihre frühesten fossilen Überreste stammen aus dem Miozän. Es ist jedoch anzunehmen, daß ihre Vorfahren bereits im Eozän, als die primitiven Raubtiere sich in verschiedene Stämme aufteilten, ins Wasser gegangen waren.

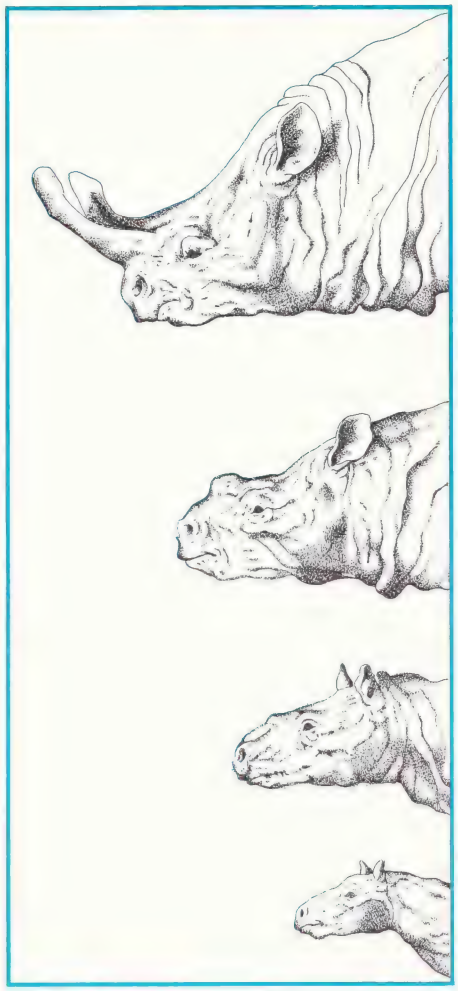
Die Anpassung an den Lebensraum Wasser war ausgeprägter bei den *Seekühen (Sirenen, Sirenia),* die ein fischähnliches Aussehen haben und bei denen die Hinterbeine vollständig verschwunden sind. Seekühe gab es bereits im Eozän; sie waren den rezenten Formen schon ziemlich ähnlich. Die frühesten Seekuhfossilien stammen aus Ägypten, was die Hypothese untermauern dürfte, daß der Ursprung der Seekühe in Afrika lag. Die Wissenschaftler sind der Ansicht, daß ihre Vorfahren pflanzenfressende Urhuftiere mit elefantenähnlichen anatomischen Merkmalen waren.

Stärker noch als die Seekühe wurden die *Wale (Cetacea)* durch die Anpassung an das Leben im Wasser umgebildet. Die große Schwanzflosse, die z. T. vorhandene Rückenfinne und die charakteristische

Rechte Seite, unten: Eine Grönlandrobbe mitten im Packeis. Als sie ins Wasser zurückkehrten, waren die Säugetiere gezwungen, ihren Körperbau radikal zu verändern, um sich an ihren neuen Lebensraum anzupassen. So besitzen z. B. die Robben eine dicke Unterhautfettschicht, die sie gegen die Kälte schützt.

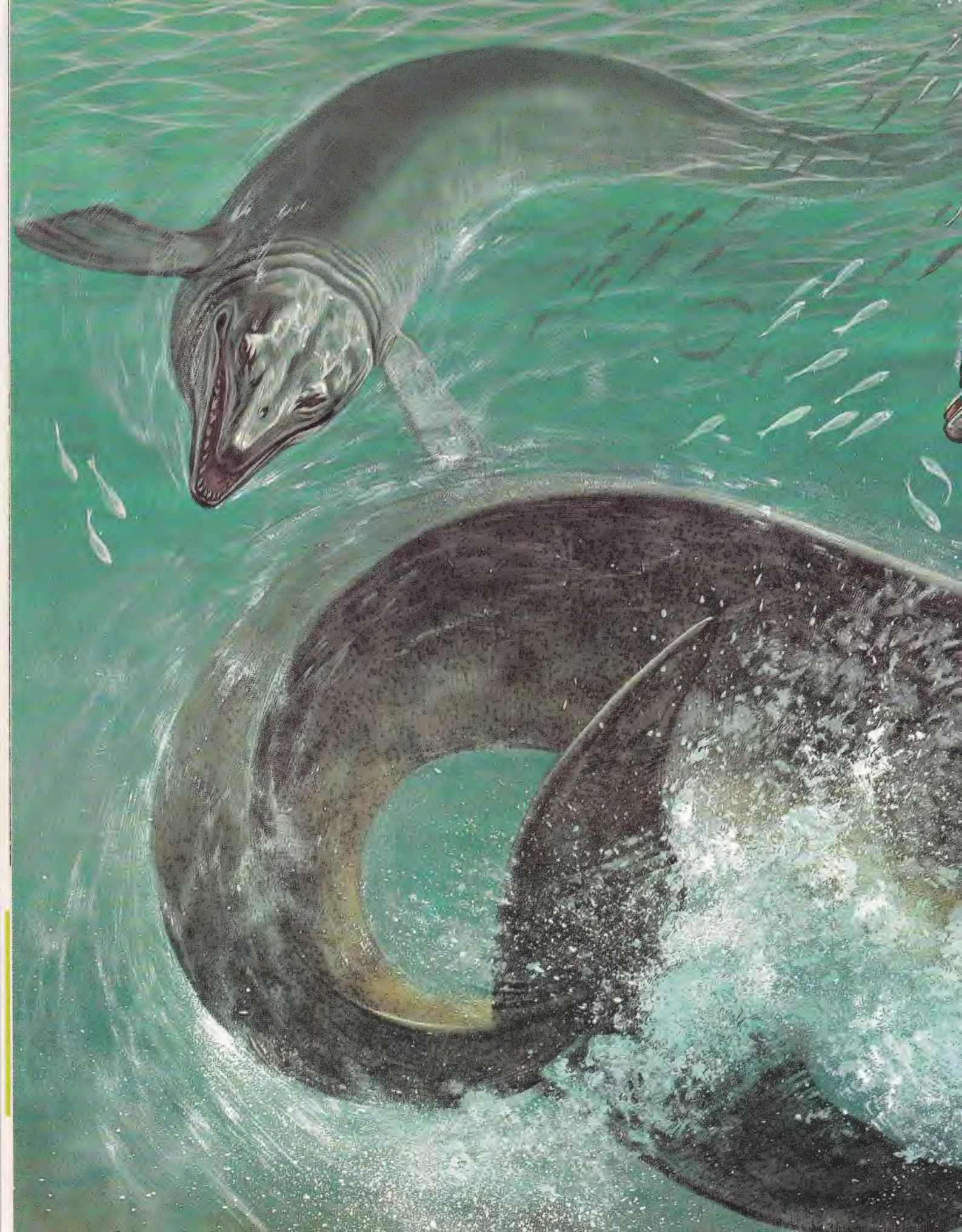
Stromlinienform wurden als typische Merkmale in einer relativ kurzen Zeitspanne, vermutlich im frühen Eozän, erworben. Die ersten Wale waren entschieden Fleischfresser, doch waren ihre Zähne zu primitiv, als daß man sie abstammungsmäßig von den Urraubtieren herleiten könnte. Die Wissenschaftler tendieren daher heute zu der Ansicht, daß sich eine Säugetiergruppe vom Stamm der primitiven Insektenfresser im Paleozän (vielleicht sogar schon in der oberen Kreide) abgespalten und sich zur Gewohnheit gemacht habe, kleine Meeresbewohner zu jagen. Im Gefolge dieser Lebensgewohnheit sei es dann zu entsprechenden Anpassungsprozessen gekommen.

Es hat den Anschein, daß sich die Wale ebenso wie die Seekühe von Nordafrika aus ausgebreitet haben, wo der *Protocetus,* der so groß war wie ein Delphin und ein langgestrecktes Gesicht mit wenigen, aber messerscharfen Zähnen besaß, schon im mittleren Eozän lebte. Dieses Lebewesen war ein aktives Raubtier, das ohne die Konkurrenz der riesigen Reptilien des Mesozoikums jetzt sicher leichtes Spiel hatte in den Gewässern. Auch die Haie jener Zeit, obwohl sie zahlreich vertreten und häufig von beeindruckender Größe waren, dürften keine ernsthaften



Oben: Evolutionsschema der Titanotheriiden; von unten nach oben: der Eotitanops des unteren Eozäns, der Manteoceras des mittleren Eozäns, das Protitanotherium des oberen Eozäns und das Brontotherium des unteren Oligozäns.

Abbildung auf den beiden folgenden Seiten: Der Basilosaurus, ein riesiger Wal, der in den Meeren Europas und Amerikas während des oberen Eozäns lebte.

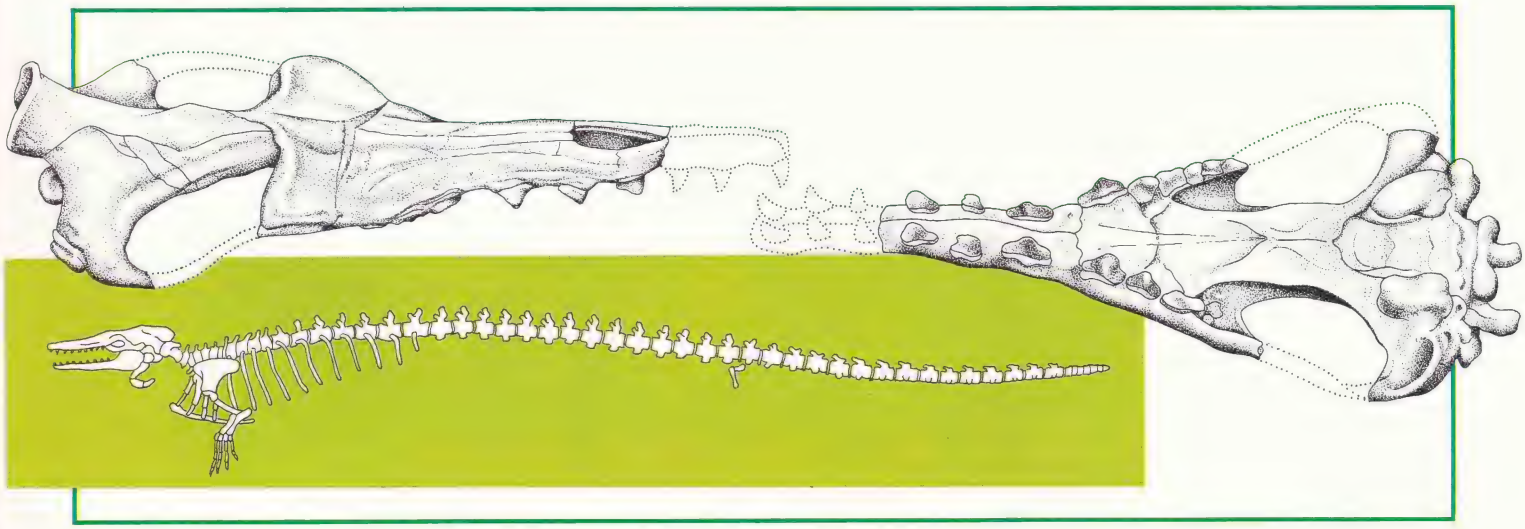


Rivalen für den Protocetus dargestellt haben, da sich dessen Nachkömmlinge in der Folge ungehindert in allen Weltmeeren ausbreiten konnten.

Der Hauptvertreter dieser Nachkommenschaft war der *Basilosaurus (Zeuglodon),* der im oberen Eozän in Amerika und Europa lebte. Er war ein furchteinflößendes Raubtier, das dem Aussehen nach einer Schlange ähnlicher war als einem Wal und eine Länge von 21 m erreichte. Sein spitz zulaufender, krokodilähnlicher Kopf hatte mit scharfen, dreieckigen Zähnen besetzte Kiefer. Der Basilosaurus war ein würdiger Nachfolger der schrecklichen Mosasaurier der Kreidezeit.

Etliche Kleinsäuger und ein Vogel

In der Zwischenzeit versuchten die Säugetiere – wie zuvor schon die Reptilien – auch die Luft als Lebensraum zu erobern und brachten bei diesem Bemühen die *Flattertiere (Chiroptera)* hervor. Bereits im Paleozän hatte eine Gruppe von Insektenfressern, die lange Zeit auf Bäumen gelebt hatte, eine Art Flughaut entwickelt, die durch die Zehen der Vorderfüße ausgespannt werden konnte. Dies ist ziemlich gesichert, da aus Schichten des Eozäns Fossilien zum Vorschein kamen, die eine außergewöhnliche Ähnlichkeit mit den heute lebenden Flattertieren aufweisen.



Schädel eines Protocetus, von oben (links) und von unten gesehen (rechts); darunter das Skelett eines Basilosaurus.

Mit dem Auftauchen der Flattertiere ist das Panorama der führenden Säugetiere des Eozäns in der Alten Welt und in Nordamerika fast komplett. Wer es abrunden möchte, kann zu den bereits erwähnten Tieren noch eine große Anzahl von Nagetieren aller Arten, von kleinen Beuteltieren und Primaten hinzufügen, die als nachtaktive Tiere ein Leben in den Bäumen führten. Unter den letzteren sind der *Tetonius* aus Nordamerika und der *Necrolemur* aus Europa von Interesse, beide winzige Lebewesen (der Kopf des Tetonius war nur ca. 45 mm lang), die mit dem heutigen südostasiatischen *Koboldmaki (Tarsius)* verwandt waren. Sie hatten wie der Koboldmaki riesige Augen, die aus einem

Der Koboldmaki, der sein Überleben der Tatsache verdankt, daß er auf Inseln lebt, wo er nicht mit höherentwickelten Arten konkurrieren muß, steht von allen Halbaffen den echten Affen am nächsten.

winzigen Gesicht herausschauten, während ihre sonstigen anatomischen Merkmale eher denen höherer Primaten ähnelten. Der echte Affe war jedoch im Eozän noch nicht vorhanden. Aber diese schüchternen, kleinen Nachtlebewesen mit ihren unheimlich großen Augen kündigten bereits seine Ankunft an.

Zu erwähnen wäre dann noch der riesige Raubvogel *Diatryma,* ein Verwandter des Kranichs, der seine Flugfähigkeit eingebüßt hatte und Schrecken verbreitend über die Savannen und Waldlichtungen rannte. Er war über 2 m groß, sein Kopf war mehr als 40 cm lang und war mit einem riesigen, gebogenen Schnabel bewaffnet. Die meisten Säugetiere hatten überhaupt keine Chance, sich gegen den Angriff eines derart riesigen Räubers zu verteidigen. Aber auch dieser Riese war zum Untergang verurteilt. Er starb aus, nachdem er sich im unteren Eozän in ganz Nordamerika und Europa verbreitet hatte. Seine rasche Entwicklung beweist indes, daß die großen Dinosaurier die Weltherrschaft an zwei potentielle Nachfolger abgegeben hatten: an die Vögel und die

Während einer langen Zeitspanne, die sich vom oberen Paleozän bis zum mittleren Eozän erstreckt, lebte in den Ebenen Nordamerikas und Europas ein riesiger, flugunfähiger Vogel: der Riesenkranich der Gattung Diatryma. Er war ein gieriger Räuber, der nicht zuletzt durch seinen schnellen Lauf den Säugern schwer zu schaffen machte.

Säugetiere. Die Vögel hatten jedoch keine Chance, gegen die Säugetiere anzukommen, deren Vertreter die Erde überschwemmten. Sie mußten diesen ungleichen Kampf verlieren.

Die Evolution des Pferdes und des Elefanten

Das „Pferd der Morgenröte“

Die Geschichte des *Pferdes* begann mit Beginn des Eozäns in den Gebieten Nordamerikas, wo die Rocky Mountains sich in längst vergessenen Seen spiegelten, welche von Sümpfen und üppigen Wäldern umgeben waren. In diesem Lebensraum gab es einen Unpaarhufer, der zwar ein pferdeähnliches Aussehen hatte, der jedoch lediglich etwa so groß wie ein Fuchs war. Dieses in der wissenschaftlichen Terminologie *Eohippus* genannte Tier (wörtlich „Pferd der Morgenröte“) war in seiner kleineren Ausgabe ca. 25 cm schulterhoch; seine „riesigen“ Vertreter wurden nicht höher als rund 50 cm. Vom Eohippus gab es damals riesige Herden, die sich besonders im Gebiet des heutigen US-Staates Wyoming tummelten.

Die Füße des Eohippus waren gut an den weichen Waldboden angepaßt, d. h., an seinen Vorderfüßen waren nur vier von fünf Zehen funktionstüchtig und mit kleinen Hufen besetzt, an seinen Hinterfüßen sogar nur drei; die beiden seitlichen waren dort stark verkürzt und im Prozeß der Rückbildung begriffen. Insgesamt eigneten sich solche Füße gut für raschen Galopp auf einem nicht allzu festen Untergrund. Aus dem Eohippus entwickelte sich im mittleren Eozän das *Orohippus,* das sich jedoch von dem ersteren nicht nennenswert unterschied.

Während dies in Amerika geschah, wo die Evolutionslinie sich gleichmäßig und stetig in Richtung auf das Pferd fortsetzte, verlief die Evolution in Europa erstaunlich rasch, ohne jedoch eine Fortsetzung zu finden. Das Eohippus nämlich (auf Grund der europäischen Fossilfunde auch als *Hyracotherium* bekannt) hatte in Europa außer den bereits weiter vorn erwähnten riesigen pferdeähnlichen Lebewesen u. a. aus der Gruppe *Palaeotherium* keinerlei Nachfahren; und auch diese überlebten das untere Oligozän nicht.

Vom Wald in die Prärie

Das Oligozän brachte das *Mesohippus* hervor, das etwa die Größe eines Schäferhundes hatte. Wenn sich auch die Körpergröße vom Eohippus zum Mesohippus nur wenig verändert hatte, so zeigte das Mesohippus andererseits doch eine bezeichnende Veränderung: Es hatte nunmehr

auch an seinen Vorderfüßen nur noch drei funktionstüchtige Zehen, zwei seitliche und einen großen mittleren, der mit einem starken Huf besetzt war. Dies ist genau die Grundstruktur des heutigen einhufigen Pferdefußes.

Das Mesohippus erwies sich als recht fruchtbar. Es gab riesige Mesohippusherden in der Gegend des heutigen Nebraska und Süddakota. Aus einem der zahlreichen Seitenzweige ging das etwa ponygroße *Anchitherium* hervor, das im Miozän auch nach Europa und Asien gelangte, wo es sich bis zum frühen Pliozän halten konnte. Ein weiterer Zweig brachte das *Megahippus* des unteren Pliozäns, das die Größe eines Nashorns hatte.

Wie man sieht, stand die Familie der Pferde damals schon in voller Blüte. Unter ihren vielen Zweigen befanden sich allerdings immer noch die Waldpferde, die an eine Lebensweise gewöhnt waren, die sich von der des heutigen Pferdes stark unterschied. Bevor sich das heutige Pferd endgültig herausbildete, sollte noch ein „Vorstoß" in eine andere Richtung erfolgen, und dieser kam im Miozän, im Gefolge der Veränderungen, die in der nordamerikanischen Pflanzenwelt eintraten.

Schon zu Beginn des Eozäns war das Klima immer trockener und kälter geworden. Die alten tropischen Wälder waren zusammengeschrumpft und unterlagen einem radikalen Umwandlungsprozeß. Im Miozän bildeten sich dann immer mehr grasbestandene Flächen, und es entwickelte sich die Prärie. In den Prärien fanden viele Huftiere einen neuen Lebensraum mit entsprechenden ökologischen Nischen.

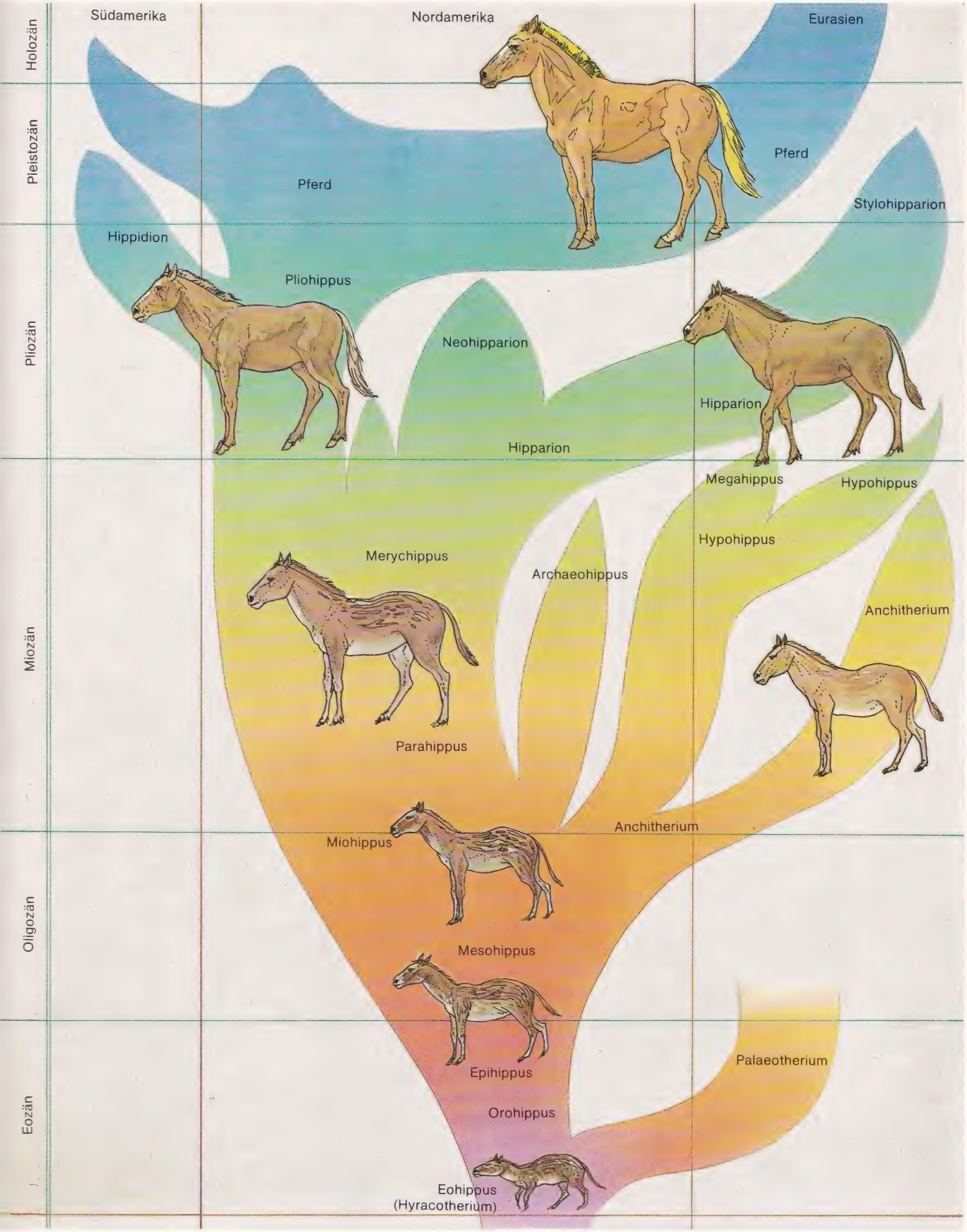
Das Leben in der Prärie setzte natürlich eine Anpassung der Zähne und Füße an diesen Lebensraum voraus, die sich auch am Pferd zeigte: Das etwa ponygroße und gelenkig gebaute *Merychippus* des Miozäns hatte hochkronige Zähne, die sich beim Kauen der Gräser weniger stark abnutzten, und für den härteren Prärieboden geeignete Füße, die nur mit einen stark behuften mittleren Zeh auftraten, während die beiden seitlichen Zehen den Boden nicht mehr berührten.

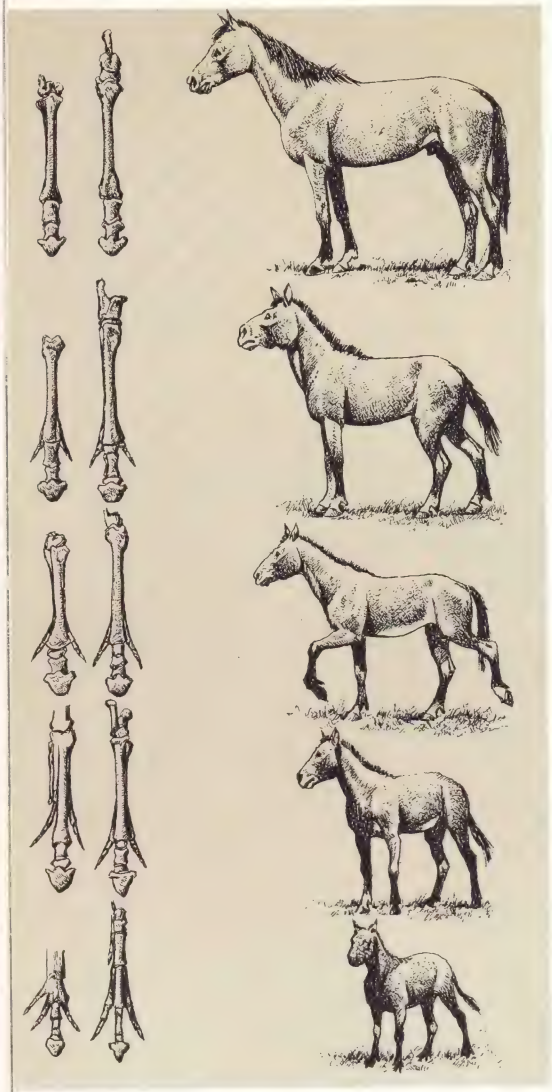
Hipparion und Pliohippus

Die Pferde gediehen prächtig in ihrer neuen ökologischen Nische und trieben wacker neue Zweige aus. Einer der erfolgreicheren davon war die Gattung *Hipparion,* deren Mitglieder ebenfalls Ponygröße erreichten. Sie zogen während des Pliozäns nach Asien und von dort weiter nach Europa und Afrika. Einige Wissenschaftler behaupten, daß das Fell des Hipparions gestreift gewesen sei wie bei unserem Zebra.

Trotz seiner weltweiten Verbreitung gehörte das Hipparion nicht zu der Entwicklungslinie, die schließlich und endlich zum heutigen Pferd führte. Diese ruhmreiche Stellung war vielmehr dem *Pliohippus* vorbehalten, das gegen Ende des Miozäns auf den Plan trat und während des gesamten Pliozäns in Nordamerika lebte. Das Pliohippus hatte bereits alle Merkmale eines richtigen Pferds, und zwar sehr viel ausgeprägter als das Hipparion. Es war zwar noch relativ klein und hatte noch Seitenzehen, aber diese waren nur mehr ein Erinnerungsstück an die frühere waldläuferische Lebensweise seiner Vorfahren im unteren Känozoikum. Seine Füße endeten jetzt in einem mittleren Huf. Damit war der Weg für die rezenten *Pferde* der Gattung *Equus* endgültig gebahnt, die im frühen Pleistozän das Licht der Welt erblickten. Ihre Abkömmlinge breiteten sich, von Nordamerika ausgehend, über die ganze Erde, Australien ausgenommen, aus.

Der Stammbaum des Pferdes mit dessen Verbreitung in den verschiedenen Erdteilen. Die Evolution des Pferdes umfaßt eine Zeitspanne von rund 60 Millionen Jahren.


Holozän
Pleistozän
Pliozän
Miozän
Oligozän
Eozän
Südamerika
Nordamerika
Eurasien
Pferd
Pferd
Stylohipparion
Hippidion
Pliohippus
Neohipparion
Hipparion
Hipparion
Megahippus
Hypohippus
Hypohippus
Merychippus
Archaeohippus
Anchitherium
Parahippus
Anchitherium
Miohippus
Mesohippus
Palaeotherium
Epihippus
Orohippus
Eohippus
(Hyracotherium)



Oben: Die Entwicklung der Hufe und des Körperbaus des Pferdes.

Damit ist die Geschichte des Pferds abgeschlossen. An ihrem Ende jedoch kommt noch eine pikante Note ins Spiel, die nicht unerwähnt bleiben soll: In Nordamerika, wo die Wiege dieses Unpaarhufers stand, war das Pferd vor mehreren tausend Jahren verschwunden. Es starb dort vollständig aus, obwohl es die klimatischen und umweltspezifischen Krisen der großen Eiszeit heil überstanden hatte. Sein Ende ist von einem ungelösten Geheimnis umwittert. Die heute in Amerika existierenden Pferde sind allesamt Nachkommen von Tieren, die in der Neuzeit von Europäern (spanischen Eroberern) nach Amerika reimportiert wurden.

Die ersten Mastodonten

Während der Ursprung des Pferdes in Nordamerika liegt, steht die Wiege des Elefanten in Afrika, genauer gesagt: in Ägypten. In diesem Gebiet lebte vom oberen Eozän bis zum unteren Oligozän ein Huftier, das von den Wissenschaftlern als Urvater aller *Rüsseltiere (Proboscidea)* angesehen wird. Es handelt sich um das sog. *Moeritherium,* das so groß war wie ein kleiner Tapir, mit einem etwas langgestreckten Körper und einem

schweineähnlichen Kopf. Es zeigte sowohl anatomische Merkmale der Rüsseltiere als auch solche der Seekühe. In seinem Kiefer standen zahlreiche Mahlzähne und vier kleine Hauer, zwei obere und zwei untere, die Verlängerungen seiner Schneidezähne darstellten.

Dieser bescheidene Vorläufer der Riesensäugetiere lebte in Sumpfgebieten, wo die Pflanzen üppig wuchsen, und muß amphibische Lebensgewohnheiten gehabt haben. Seine kleinen Hauer, die quer aus dem Maul hervorstanden und einander überkreuzten, benutzte es zum Ausreißen der Pflanzen, von denen es sich ernährte.

Genau diese Angewohnheit muß bestimmend für die Entwicklung der längeren und stärkeren Stoßzähne und für das allmähliche Verschwinden der weniger eindrucksvoll bestückten Arten gewesen sein. So entstand allmählich die Familie der *Mastodonten,* deren Mitglieder sich auf vielfältige Art und Weise auf der Erde verzweigten und schließlich den heutigen Elefanten hervorbrachten.

Ihr erster Abkömmling in Ägypten war *Phiomia.* Die Vertreter dieser Gattung, die im Oligozän existierte, hatten eine Widerristhöhe von ca.

Oben: Eine Herde von Hipparion, dem kleinen, dreizehigen Pferd, das vermutlich ein gestreiftes Fell hatte. Der gefährlichste Feind dieser Huftiere war zweifellos der abgebildete Machairodus, eine der größten Säbelzahnkatzen, die damals lebten.

1,20 m und zeigten bereits so etwas wie einen Rüssel. Ihr Unterkiefer war sehr lang, so daß sie ihre (immer noch unbedeutenden) unteren *Stoßzähne* wie eine Schaufel zum Zusammenscharren von Sumpfpflanzen benutzen konnten. Während die unteren Hauer gerade nach vorn ragten, waren die oberen nach unten gebogen – ein Trend, der sich bei den Mastodonten noch lange fortsetzen sollte.

In der Zwischenzeit spaltete sich ein Zweig der Rüsseltiere früh von der Hauptlinie ab. Wir wissen nicht viel über die Entwicklungsphasen dieser Seitenlinie, obwohl fossile Überreste von riesigen „Elefanten" mit paarigen Stoßzähnen, die vom Unterkiefer ausgingen und nach unten gebogen waren, in Schichten des Miozäns und Pliozäns gefunden wurden. Als die Wissenschaftler zum ersten Mal auf derartige Fossilien stießen, waren sie nicht in der Lage, die zerbrochenen oder zersplitterten Schädel zusammenzusetzen. Heute wissen wir, daß es sich bei diesen Tieren um die artenreiche Gattung *Dinotherium* handelte, deren Vertreter bis zu 5 m hoch und bis zu 6,5 m lang wurden. Sie breiteten sich im unteren Miozän von Afrika zunächst nach Europa, dann auch nach Asien aus. Kurz vor der Eiszeit verschwanden sie wieder aus Eurasien. In Afrika jedoch überlebten sie noch einige Zeit, wie Funde aus Schichten des mittleren Pleistozäns beweisen. Es war eine langlebige Gruppe, die sich fast 25 Millionen Jahre auf der Erde hielt.

Stoßzähne und Schaufelkiefer

Wenn wir nun zur Hauptlinie der Rüsseltiere zurückkehren, begegnen wir zuerst dem *Gomphotherium (Trilophodon)* des unteren Miozäns, einem Phiomiaabkömmling. Es war etwa 4 m lang und hatte große Ähnlichkeit mit dem heutigen Elefanten, wenn es auch vielleicht etwas schlanker war als dieser. Es hatte bereits einen regelrechten *Rüssel,* der zwischen seinen vier Stoßzähnen herabhing. Sein Unterkiefer war ziemlich langgezogen, so daß sich die (wie bei Phiomia) nach unten gebogenen oberen Stoßzähne mit den nach oben gebogenen unteren kreuzten.

Das in den tropischen Wäldern Asiens heimische Gomphotherium breitete sich rasch in ganz Eurasien aus. Die Gomphotheriumherden stießen später über Südasien bis an die Küsten des Pazifiks vor und zogen dann in Richtung Arktis weiter. Jahrhundert um Jahrhundert, Jahrtausend um Jahrtausend wanderten sie auch nach Nordosten, bis sie im oberen Eozän über die inzwischen überflutete Landverbindung der Beringstraße das heutige Gebiet der USA erreichten.

In der Zwischenzeit führte die Angewohnheit dieser Tiere, ihren Kiefer beim Weiden in Sumpfgebieten wie eine Schaufel zu benutzen, zur Entwicklung einer Reihe von seltsamen und plump anmutenden Mastodontenarten, die in der Tat als „Schaufelkiefermastodonten" bekannt sind. Ein klassischer Vertreter dieser Gruppe ist das *Platybelodon* des Miozäns, das ebenfalls von Asien nach Amerika wanderte. Seine oberen Stoßzähne waren noch relativ klein, während seine unteren ungewöhnlich verbreitert waren, so daß sie einander fast berührten und zusammen gleichsam einen riesigen „Löffel" mit einer scharfen Kante bildeten, der sich bestens für das „Umpflügen" des Sumpf- und Brackwasserbodens (bei der Suche nach Wurzeln) eignete.

Noch ausgeprägter waren diese Merkmale beim nordamerikanischen *Amebelodon* des oberen Pliozäns, bei dem die unteren Stoßzähne fast flach und parallel (ca. 60 cm lang) aus dem rund 1,50 m langen

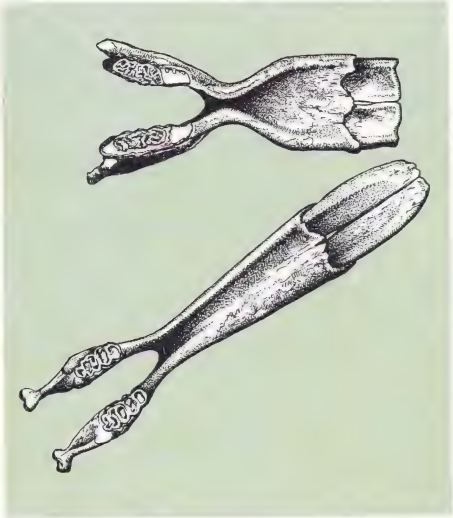
Oben: Der Schädel eines Rüsseltiers aus der Gattung Dinotherium. Man beachte, daß die aus dem Kiefer herausragenden Stoßzähne nach unten gebogen sind, ein ausschließliches Merkmal dieser Gruppe.

Rechte Seite: Das Moeritherium, das als Urvater aller Rüsseltiere gilt, in seiner natürlichen Umgebung. Dieses Tier lebte während des oberen Eozäns und des unteren Oligozäns in Afrika. Es hatte amphibische Lebensgewohnheiten und hielt sich mit Vorliebe in Sumpfgebieten mit reicher tropischer Vegetation auf.

Unterkiefer herausragten. – Eine abweichende Form verkörpert das *Gnathabelodon,* das etwa gleichzeitig wie das Amebelodon lebte: Es hatte seine Stoßzähne vollständig eingebüßt und benutzte den bloßen Kiefer als Schaufel.

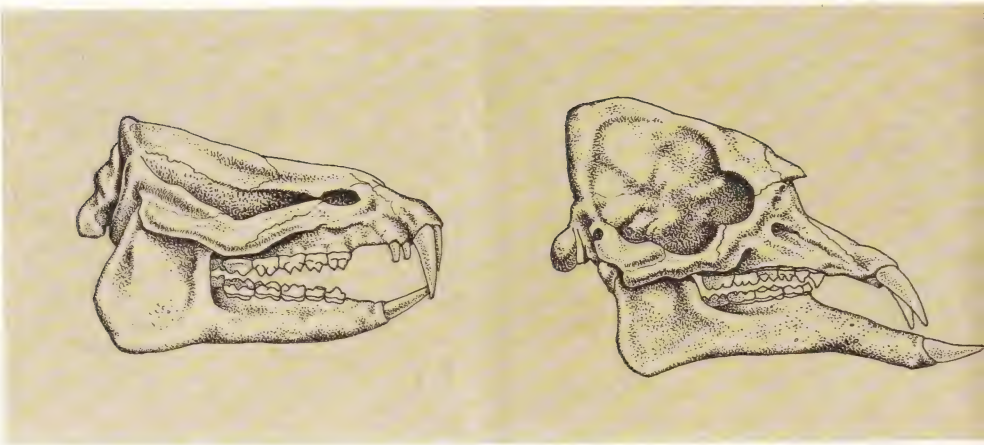
Die Blütezeit der Mastodonten

Mehrere andere Zweige der Mastodonten breiteten sich während des Miozäns und Pliozäns über weite Gebiete aus und bevölkerten einen großen Teil der Erde mit zahllosen Herden von Rüsseltieren. Auf dem Höhepunkt ihrer Entwicklung erreichten viele Mastodonten eine ungeheure Größe, wobei ihre oberen Stoßzähne jetzt himmelwärts zeigten und lang und kräftig, bisweilen sogar riesenhaft wurden. Gleichzeitig



Oben: Der Unterkiefer eines „Schaufelkiefermastodonten". Man nimmt an, daß die Angewohnheit dieser Tiere, ihren Unterkiefer als eine Art Schaufel zum Bewegen oder Ausreißen von Pflanzen in Sumpfgebieten zu benutzen, zu einer immer größeren Entwicklung des Kiefers selbst führte.

Rechts: Rekonstruktion eines Gomphotheriums (im Hintergrund) und eines Platybelodons (im Vordergrund) im unteren Pleistozän in Nordamerika. Diese beiden Rüsseltiere, für die vier Stoßzähne und (im Fall des Platybelodons) ein Schaufelkiefer typisch sind, beweisen eindeutig, wie sich die Gruppe der Mastodonten in unterschiedlich differenzierte Zweige auseinanderentwickelte.



Die Evolution des Schädels der Rüsseltiere: von links nach rechts: Moeritherium des oberen Eozäns und des unteren Oligozäns; Phiomia des oberen Oligozäns; Gomphotherium des Miozäns und Pliozäns; Mammut des Pleistozäns.

verkürzte sich der Unterkiefer, und die unteren Stoßzähne verkümmerten zu bloßen Stümpfen. Bei manchen Arten blieben überhaupt nur noch zwei riesige obere Stoßzähne, zwischen denen ein langer, elefantenähnlicher Rüssel herabhing.

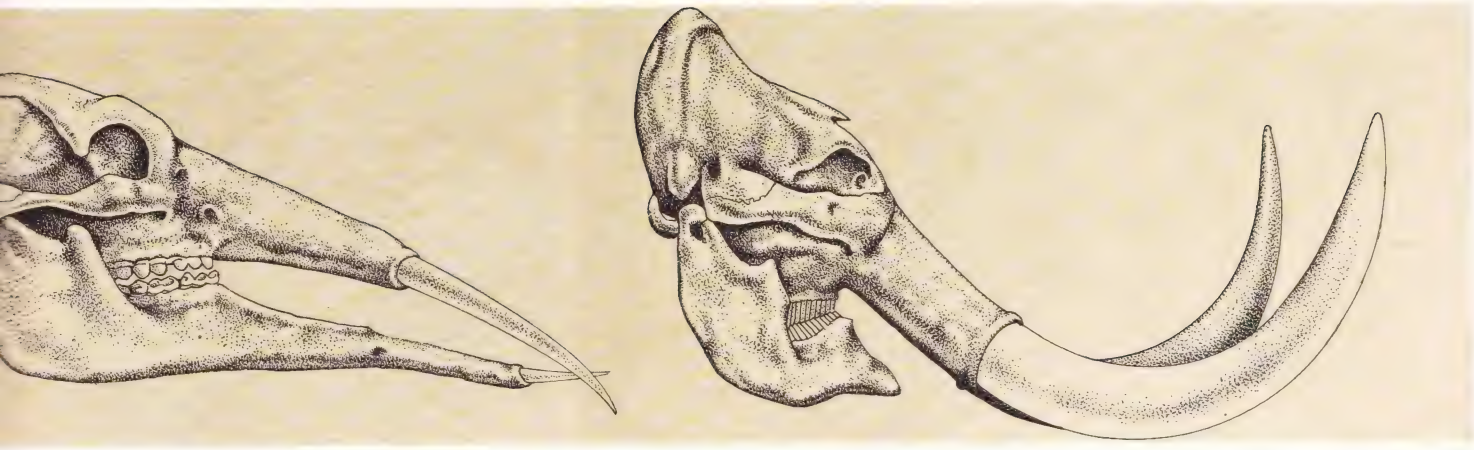
Im Laufe der Zeit verdrängten im Pliozän die neuen Typen von Mastodonten die älteren. Ihr Hauptvertreter war das *Tetralophodon,* das zuerst im oberen Miozän in Asien auftrat, um sich dann während des Pliozäns über Europa und Nordamerika auszubreiten; es ist denkbar, daß es in Nordamerika sogar noch im Pleistozän vertreten war.

Der südamerikanische Kontinent war den Mastodonten bis zum ausgehenden Pliozän verschlossen. Als sich dann jedoch die Landenge von Panama ausbildete, gab es keine Barriere mehr, die das Vordringen der großen Rüsseltiere nach Südamerika hätte verhindern können. Das *Stegomastodon* z. B. und der *Cuvieronius* (oder *Teleobunomastodon*) zogen entlang den Kordilleren und den Anden südwärts und erlebten dabei während des Pleistozäns eine beträchtliche zahlenmäßige Vermehrung. Es gibt einen Fossilienfund aus einem Tal in Bolivien, der die Überreste einer ganzen Säugetiergemeinschaft birgt, die vor rund 350 000 Jahren (spätes Pleistozän) dort existiert hatte. In dieser Population aus Hundeartigen, Pferden, riesigen Gürteltieren und Säbelzahntigern waren auch Mastodonten reichlich vertreten. Man darf daraus schließen, daß die Landschaft dort ähnlich ausgesehen haben wird wie unsere heutigen afrikanischen Landschaften.

Nun verwebt sich das „persönliche Schicksal" einer Gruppe von Mastodonten, die bis vor einigen tausend Jahren in Nordamerika gelebt hatten, mit dieser langen und spannenden Geschichte der Rüsseltiere. Die Überreste dieser Tiere waren noch so „neu" und „frisch", daß sie oft aus den obersten Erdschichten zutage traten und relativ leicht gefunden werden konnten. Im Jahre 1739 entdeckte ein französischer Beamter namens De Longueil einen wahren „Friedhof" dieser Tiere in der Nähe des Ohio. Man gab dem unbekannten Tier, das diese Fossilien repräsentierten, deshalb den Namen *Ohio-Elefant.*

Wie die Mastodonten mit der Eiszeit fertigwurden

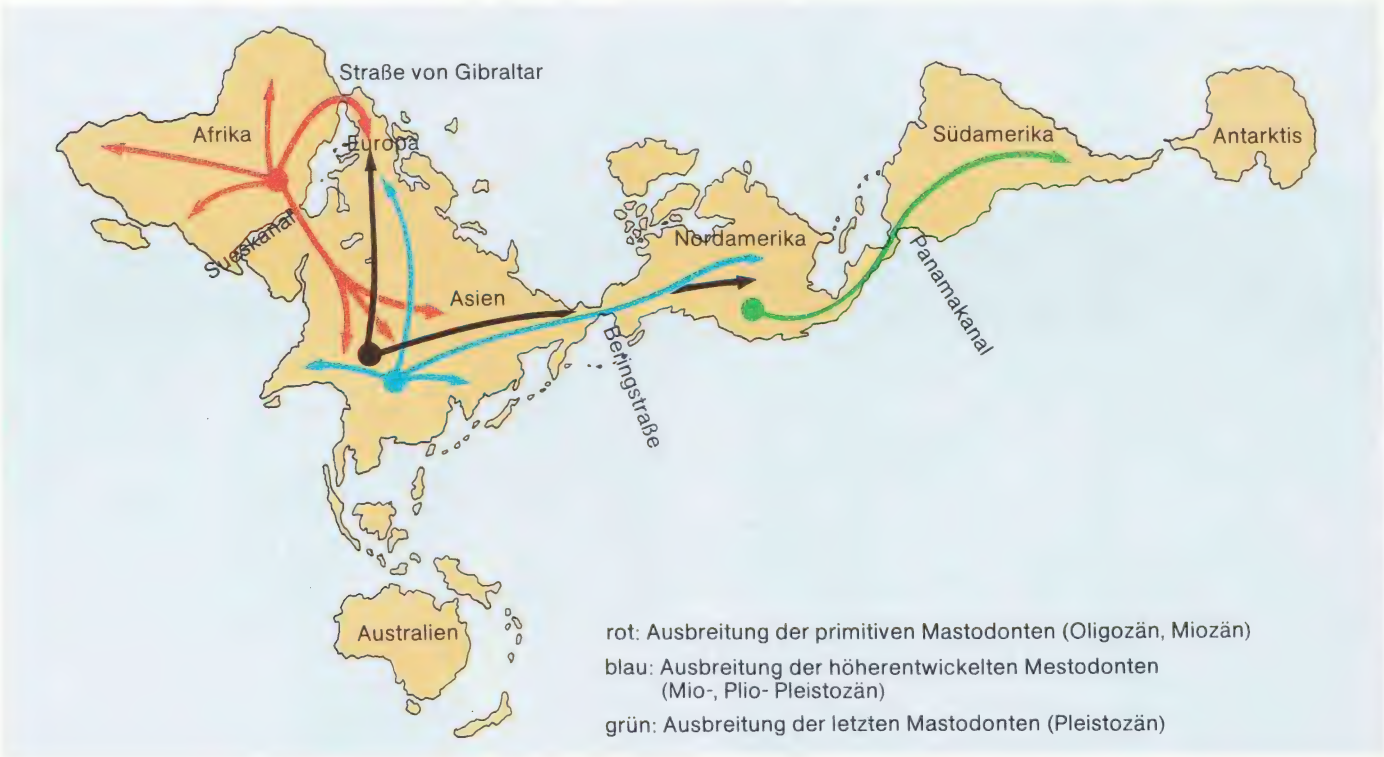
Der Ohio-Elefant, der inzwischen als Mastodon anerkannt ist, war das echte amerikanische Mastodon des Quartärs. Sein Ursprung lag irgendwo im Oligozän. Er bildete einen eigenen Zweig, der sich zur Zeit der ursprünglichen Entwicklung der Rüsseltiere in Afrika abgespalten hatte.



Ein Vorfahr dieses merkwürdigen Zweiges war das *Palaeomastodon,* das eine starke Ähnlichkeit mit den Vertretern der Gattung Phiomia hatte, deren Zeitgenosse es war. Es unterschied sich von diesen lediglich hinsichtlich des Zahnaufbaus. Dieser Mastodontenzweig kam wie das Gomphotherium gegen Ende des Miozäns nach Amerika und blühte vor allem im Pleistozän.

Als sich allerdings die Gletscher während der großen Vereisung im Pleistozän immer weiter vorschoben, verließen die meisten Mastodonten die kälteren Gebiete von Nordamerika oder starben aus. Einige wenige Vertreter jedoch behaupteten sich und paßten sich an. Sie ließen sich ein dichtes Haarkleid wachsen und widerstanden den Entbehrun-

Unten: Die „Heerstraßen", auf denen die Mastodonten während des Tertiärs durch die Kontinente zogen. Die Landverbindungen zwischen den Erdteilen ermöglichten eine Wanderungsbewegung und damit einen Austausch zwischen den Tierpopulationen. Die darauf folgende Trennung der Erdteile zwang dann die verschiedenen Tierarten, unterschiedliche Evolutionswege einzuschlagen.

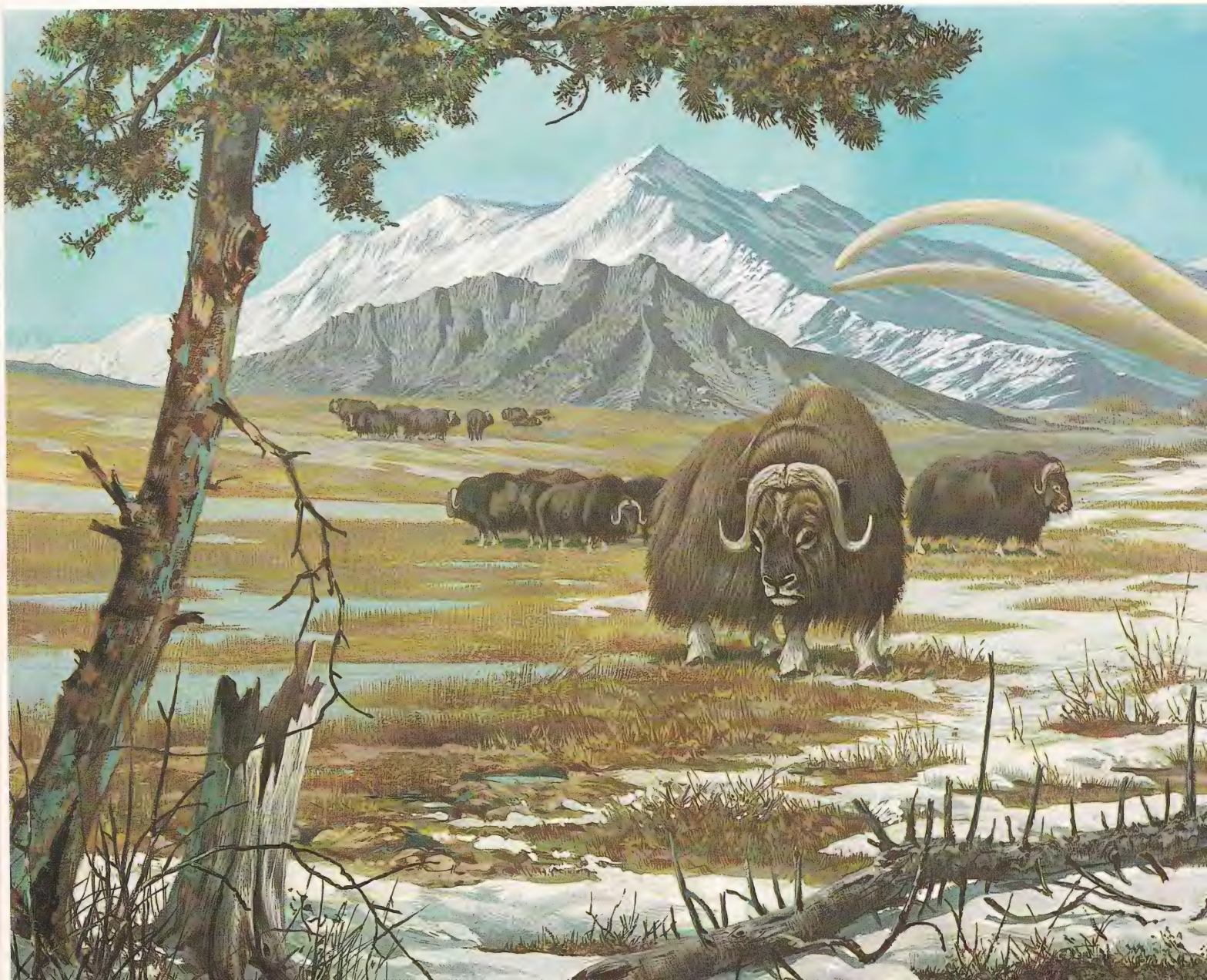


gen der langen und gnadenlosen Winter. Sie nahmen es – in Gesellschaft von Moschusochsen und Büffeln – in Kauf, in den öden Ebenen den kargen Pflanzenbewuchs abzuweiden, während eisige Winde über die Steppe wehten und ganze Rudel hungriger Wölfe sich heulend umhertrieben. Diese wenigen Mastodonten wurden schließlich, obwohl sie in grauer Vorzeit unter der glühenden Sonne Afrikas ihren Ursprung genommen hatten, regelrechte Tiere der Arktis.

Die amerikanischen Eiszeitmastodonten waren durchschnittlich 2,80 m hoch und 4,50 m lang. Sie waren also kleiner (wenn auch länger) als der heutige Elefant. Ihr Rücken war leicht gekrümmt. Den Kopf hielten sie mehr nach vorn und nicht aufrecht. Sie besaßen kräftige, bis 3 m lange Stoßzähne, die nur leicht gekrümmt waren. Aus Überresten ihrer Weichteile, die im Dauerfrostboden der kanadischen Tundra gefunden wurden, wissen wir, daß die Haut dieser Mastodonten eine rotbraune Farbe hatte.

Obwohl nun die verbleibenden nordamerikanischen Mastodonten die größten klimatischen Widrigkeiten der Eiszeit dank ihrer vorzüglichen Anpassung unbeschadet überstanden, starben sie später nach

Eine Gruppe Moschusochsen (Ovibos moschatus) und ein Mastodon während der nordamerikanischen Eiszeit.



dem letzten Rückzug der Gletscher (also in ziemlich junger Zeit) auf geheimnisvolle Weise aus. (Wir haben es hier mit demselben ungeklärten Phänomen zu tun, das uns bereits im Zusammenhang mit dem Aussterben des Pferdes in Amerika begegnete.) Da andererseits auch die Mastodonten der Alten Welt bereits im unteren Pleistozän ausstarben und auch die nach Südamerika „verzogenen" Vettern der nordamerikanischen Mastodonten vollständig, wenn auch erst in sehr junger Zeit, von der Bühne des Lebens abgetreten sind, ist von dieser eindrucksvollen Gigantenfamilie auf unserer Erde nichts mehr übriggeblieben.

Die ersten Elefanten

Aus dem unerschöpflichen Säugetierreservoir Afrikas kamen im Gefolge der Mastodonten die ersten echten *Elefanten,* die sich von den Mastodonten im wesentlichen nur in ihren Mahlzähnen unterschieden. Im frühen Miozän lebte in Afrika ein Tier, das ungefähr zwischen beiden Gruppen stand, das *Stegolophodon.* Es wanderte später nach Europa und Asien aus; im östlichen Indien hielt es sich bis zum Ende des Pleistozäns. Seine Abkömmlinge in Asien brachten später einen primiti-

Rechte Seite: Vollständiges Skelett eines Kältesteppenmammuts (Mammonteus primigenius).

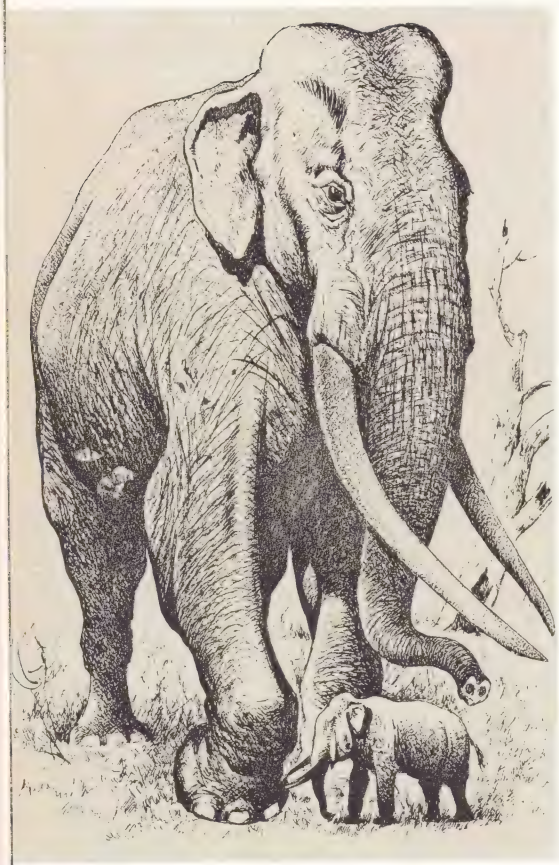
ven Elefanten hervor, das sog. *Stegodon,* das einen relativ kleinen Kopf hatte, aber riesige Stoßzähne.

Das Stegodon trat erstmals im oberen Pliozän in Erscheinung. Seine Nachfahren im Pleistozän breiteten sich von Südasien über Afrika, Europa und Nordamerika aus und liefen den Mastodonten und Dinotheriumvertretern den Rang ab, die beschleunigt ihrem Untergang entgegengingen.

Die ältesten echten Elefanten, die sog. *Archidiskodonten,* waren massige und noch sehr urtümliche *Warmsteppenelefanten* (z. B. die Art *Archidiskodon meridionalis*). Sie spalteten sich im späten Pleistozän in zwei Zweige auf, aus denen dann später einerseits die heutigen afrikanischen Elefanten *(Loxodonta)* und andererseits deren heutige indische Vettern *(Elephas)* hervorgehen sollten. Den ersten Zweig bildeten die sog. *Altelefanten* mit dem kolossalen Vertreter *Palaeoloxodon* (bekannte Art *Palaeoloxodon antiquus*), der in den Warmzeiten des Pleistozäns die europäischen Wälder bevölkerte und während der letzten Warmzeit ausstarb. Der andere Zweig umfaßt die sog. *Steppenelefanten* oder *Mammute,* von denen noch ausführlicher die Rede sein wird.

Unten: Ein Vergleich zwischen dem Palaeoloxodon antiquus, einem wahren Riesen, der eine Höhe von 4,2 m erreichte, und dem kleinsten der bekannten fossilen Elefanten, dem Palaeoloxodon falconeri, das nur 90 cm hoch war.

Zwergelefanten und Riesenmammute

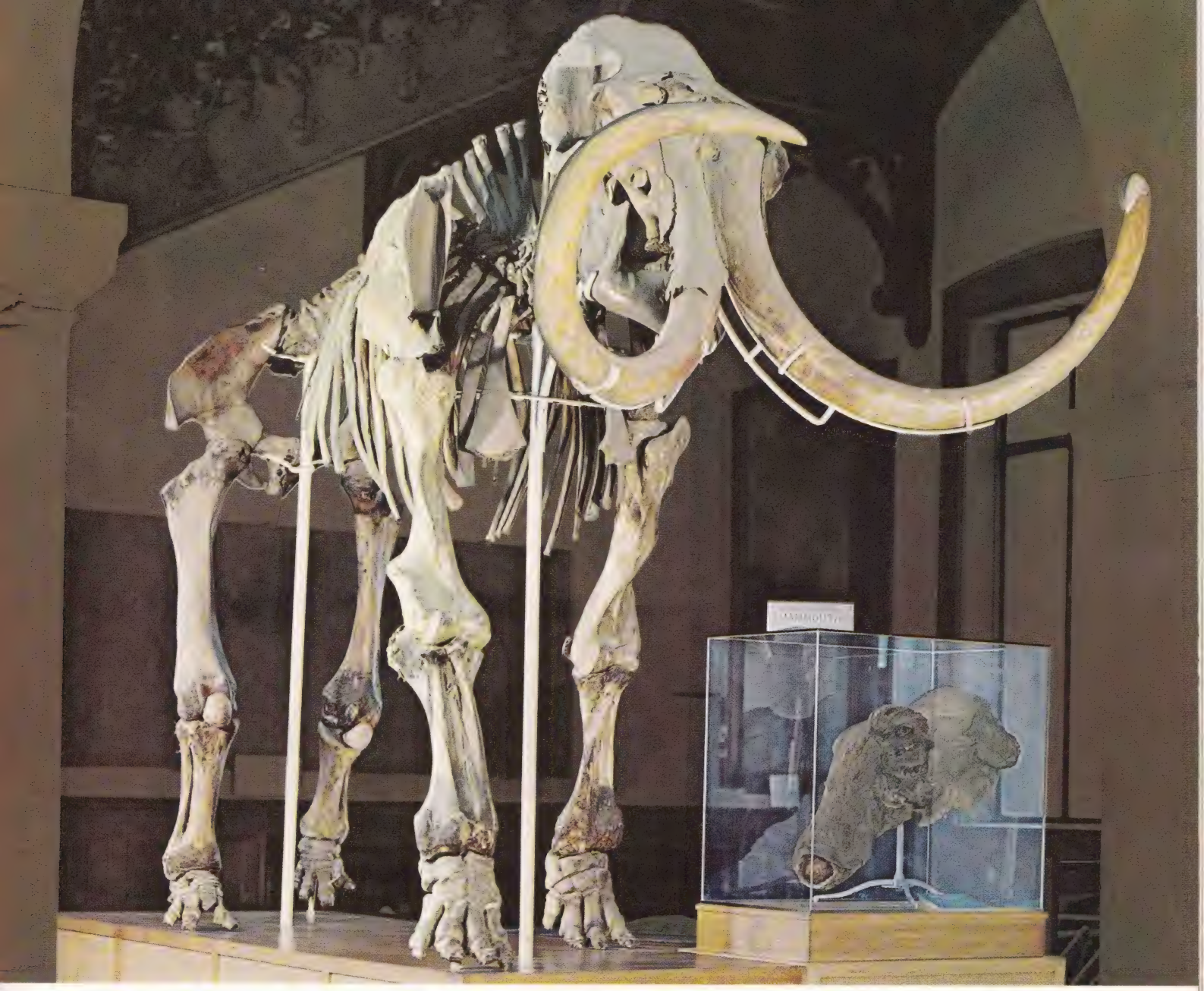


Eines der gefundenen Exemplare von Palaeoloxodon antiquus hatte eine Schulterhöhe von 4,20 m. Diese Riesen nun waren, so unglaublich das klingen mag, die direkten Verwandten von winzigen Elefanten, die in einzelnen Fällen nicht größer als ein Hund waren. Es handelt sich dabei um Abkömmlinge der Altelefanten, die sich auf den Mittelmeerinseln ansiedelten und während des oberen Pleistozäns eine Nachkommenschaft von Zwergen hervorbrachten. Auf Sizilien z. B. gab es die Art *Palaeoloxodon mnaidriensis,* deren Mitglieder nur zwischen 1,50 und 1,90 m groß waren, und die Art *Palaeoloxodon falconeri,* die mit durchschnittlich 90 cm Schulterhöhe die kleinsten Vertreter der Rüsseltiere überhaupt beherbergt.

Die Abkömmlinge des südlichen Zweigs der Archidiskodonten, die bereits erwähnten Steppenelefanten oder Mammute, hatten sich unterdessen gut an die eiszeitlichen Lebensbedingungen angepaßt. Ein riesiges Mitglied dieser Gruppe lebte während der zweiten großen Vereisungswelle in Europa. Es war der *Mammonteus trogontherii (Steppenmammut),* der dicht behaart war und gebogene Stoßzähne hatte. Von ihm stammt in direkter Linie das jungeiszeitliche *Kältesteppenmammut (Mammonteus primigenius)* ab, also jener Vertreter der Gattung *Mammonteus (Mammuthus),* den wir in der Gemeinsprache als echtes *Mammut* zu bezeichnen pflegen. Riesige Herden dieser Tiere zogen damals durch die nördlichen Regionen der Alten und Neuen Welt und fristeten ihr Dasein von der spärlichen Vegetation der Tundren.

Das Mammut ist vielleicht das bekannteste aller Großtiere auf der Erde, die inzwischen ausgestorben sind. In europäischen Höhlen hat der prähistorische Mensch einige äußerst treffende Zeichnungen (gemalt oder eingekratzt) von ihm hinterlassen. Im Dauerfrostboden Sibiriens wurden Skelette gefunden, an denen sich sogar Weichteile und Körperhaare über Tausende von Jahren erhalten haben. Dadurch ist man heute in der Lage, das Mammut vollständig zu rekonstruieren.

In der Regel hatte das Mammut die Größe eines kräftigen Indischen Elefanten von heute. Doch gab es in Europa auch Mammutriesen, die bis

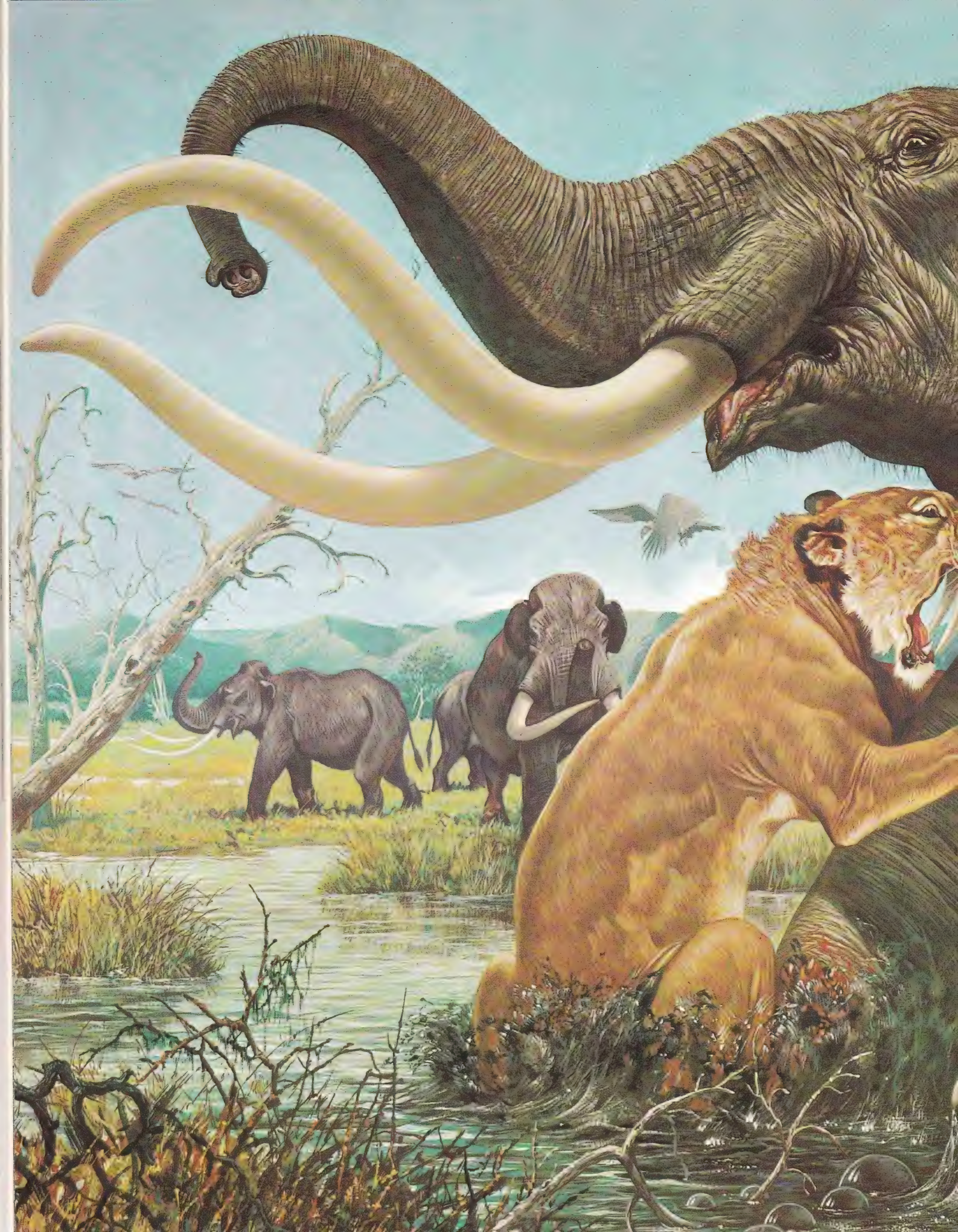


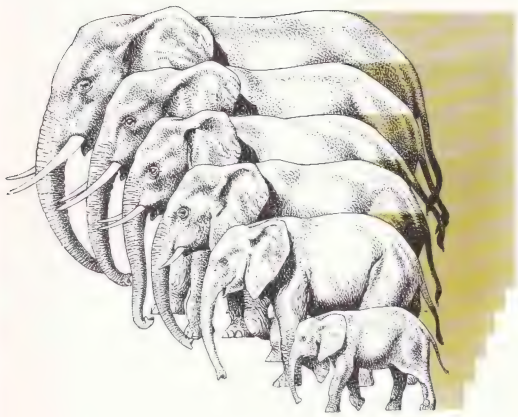
4,50 m hoch wurden. Im Verhältnis zu seiner Größe war der Rumpf des Mammuts nur kurz. Sein Kopf, den es aufrecht hielt, war kräftig. Zwischen ihm und dem nach oben gewölbten Rücken befand sich eine tiefe, sattelförmige Einbuchtung. Die Stoßzähne ragten nach unten, waren jedoch an den Enden auf eindrucksvolle und unverkennbare Art und Weise nach oben gebogen. Das Mammut hatte einen langen, haarigen Rüssel und kleine Ohren. Das dicht behaarte Fell, unter dem eine dicke Schicht von Unterhautfettgewebe einen zusätzlichen Kälteschutz bot, war braun oder braunrot.

Abbildung auf den beiden folgenden Seiten: Rekonstruktion einer Tiertragödie, wie sie sich immer wieder in den Asphaltsümpfen von Rancho La Brea in Kalifornien abspielte: Ein Archidiskodon imperator, der in dem tödlichen Erdpech gefangen ist, versucht vergeblich, sich zu befreien. Zwei Säbelzahntigern (Smilodon), die sich eine leichte Beute versprachen, blüht dasselbe Schicksal.

In den Asphaltsümpfen

In Amerika, wohin Archidiskodon meridionalis über die Landbrücke ausgewandert war, die sich in der Gegend der heutigen Beringstraße aus dem Meer erhob, entstanden früher als in Europa weitere Großelefanten. Der größte war *Archidiskodon imperator* mit einer haarlosen oder nur





Die Elefanten nehmen während ihres ganzen Lebens an Körpergröße und Körperlänge zu. Das in dieser Zeichnung dargestellte große Weibchen ist 40 Jahre alt und an den Schultern 2,27 m hoch. Das kleine Weibchen, das nur 1 Jahr alt ist, kann tatsächlich zwischen den Beinen eines erwachsenen Tiers hindurchlaufen.

spärlich behaarten Haut und mit über 3 m langen, sanft geschwungenen Stoßzähnen. Von diesem Tier wurden (zusammen mit den Überresten anderer Elefantenarten, die alle dem Mammut mehr oder weniger ähnlich waren) in einer Asphaltlagerstätte bei Rancho La Brea in der Nähe von Los Angeles einige prachtvolle Fossilien gefunden. Die Funde in dieser Lagerstätte berichten uns von urzeitlichen Tiertragödien.

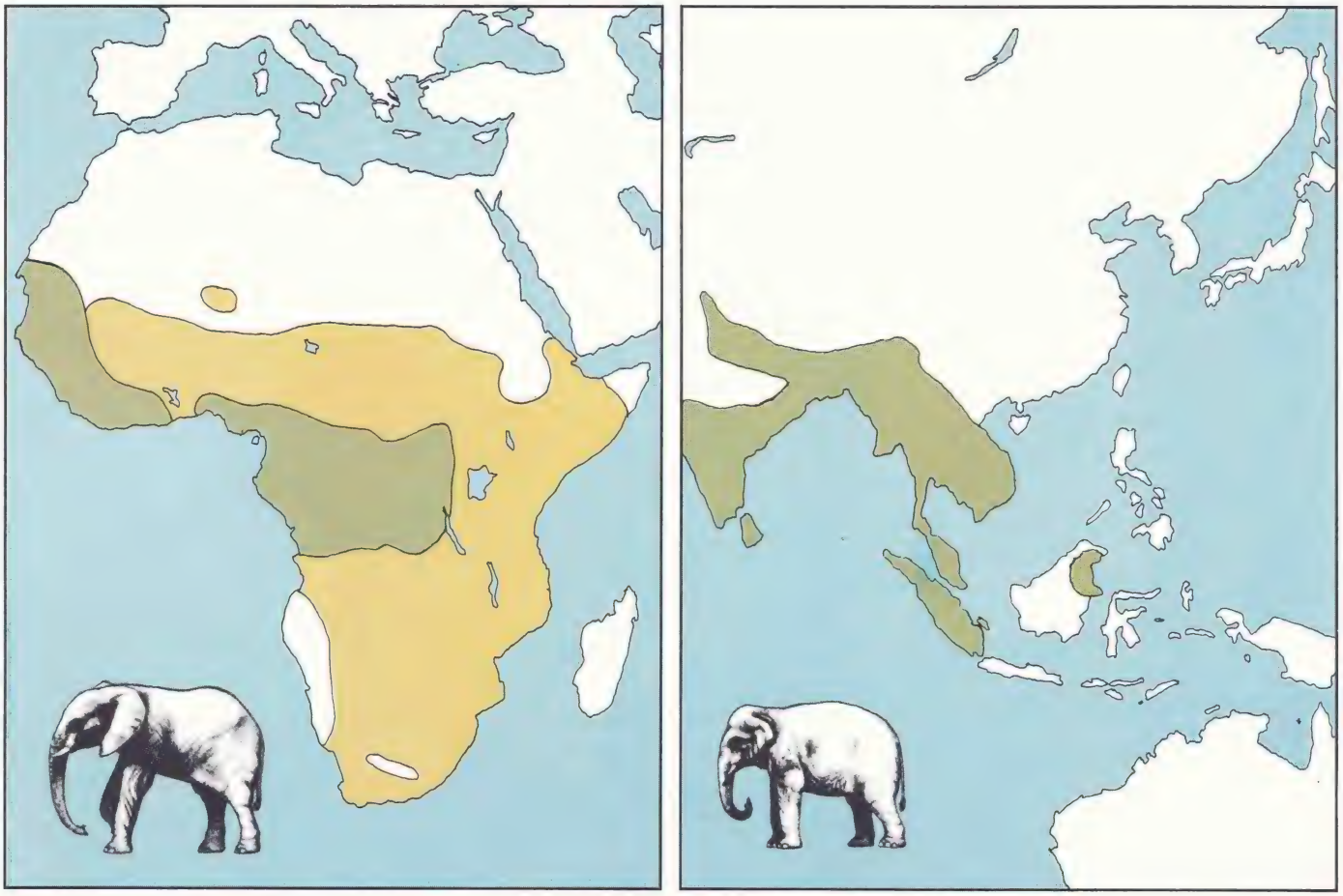
Während des Pleistozäns sammelte sich über dem Asphalt von Rancho La Brea Wasser an und bildete Teiche oder kleine Seen, die ständig von durstigen Tieren aufgesucht wurden. Unter dem ruhigen Wasser, in denen sich der Himmel und die Bäume der Umgebung spiegelten, lauerte eine tödliche Gefahr: Die Tiere, die sich arglos dem Wasser näherten, brachen in den weichen Asphaltbänken ein und versanken in ihnen. Wenn sich dann ein auf diese Weise „gefangener" Pflanzenfresser (vergeblich) abstrampelte, um wieder freizukommen, lockte er dadurch fleischfressende Raubtiere an, die am Ende selbst im Asphaltsumpf jämmerlich ertranken.

Tragödien dieser Art waren hier an der Tagesordnung. Im oberen Pleistozän streiften riesige Säbelzahntiger in Kalifornien umher. Vom Trompeten, Brüllen oder Geschrei der in den Asphaltbänken gefangenen Pflanzenfresser angezogen, machten sich diese Tiger gruppenweise über die hilflose Beute her und wurden selber gruppenweise vom unerbittlichen Asphaltsumpf verschluckt. Auch die Aasgeier waren natürlich nicht weit, wenn die Tafel so reich gedeckt war, aber auch sie fielen demselben Schicksal anheim: Während sie sich Fleischfetzen aus den wehrlosen Säugetieren herausrissen, beschmierten sie ihre Schwingen mit Erdpech und waren so nicht mehr in der Lage, davonzuflattern. Andere harmlose Sumpfvögel, die aus purer Neugier herbeieilten, teilten ihr grausames Schicksal. Auf diese Weise wurden die Asphaltsümpfe von Rancho La Brea zur reichhaltigsten Lagerstätte fossiler Knochen auf der ganzen Erde.

Die großen Wanderungen des Pleistozäns und das Ende des Mammuts.

Die Geschichte der Urelefanten ist damit eigentlich zu Ende. Sie wäre jedoch unvollständig ohne die Erwähnung der großen Wanderungen, die die Elefantenherden während des Pleistozäns unternahmen. Wie wir ja bereits wissen, waren diese Rüsseltiere damals sowohl in den warmen als auch in den kalten und sogar in den arktischen Klimazonen vertreten. Sie zogen immer dann weiter, wenn sich die klimatischen Verhältnisse änderten. So wissen wir z. B., daß es während der letzten Zwischeneiszeit in der Gegend von London Elefanten der bereits genannten Art Palaeoloxodon antiquus (der riesigen Elefanten des Pleistozäns aus den Wäldern der warmen Klimazonen) gab. Andererseits weideten während der folgenden Eiszeit die haarigen Mammuts südlich der Alpen.

Während der letzten Eiszeit bevölkern die Mammuts Sibirien, wobei sie sich bis in die Tundren des hohen Nordens vorwagten, die nicht von Eiskappen bedeckt waren. Dort wurden sie die unbestrittenen Herrscher ihrer Umwelt. Auf ihren weiteren Zügen erreichten die riesigen Tiere die Landbrücke im Bereich der heutigen Beringstraße und zogen hinüber nach Nordamerika, wie dies andere Elefanten und die Mastodonten schon vor ihnen getan hatten. Auf diese Weise gelangten sie nach Alaska, Kanada und in einen Teil der USA. So gab es in Amerika eine Zeitlang starke Populationen mit verschiedenen Arten von Mastodonten und Elefanten.



All das dauerte jedoch nur eine relativ kurze Zeit; denn sehr bald fingen diese Tiere an auszusterben. Die Urelefanten waren gegen Ende des Pleistozäns fast überall verschwunden, sogar das sibirische Mammut, das doch so ideale Umweltbedingungen vorgefunden zu haben schien. Übrig blieben nur der *Afrikanische Elefant* und der *Asiatische Elefant,* die heute nach wie vor auf ihren Kontinenten leben, wenn auch die Anzahl ihrer Individuen durch die Errungenschaften der vordringenden Zivilisation und durch starke Bejagung stark reduziert wurde. Als Abkömmlinge unendlicher Herden, die in den Jahrmillionen auf der ganzen Erde (mit Ausnahme Australiens und der Antarktis) einander ablösten, sind sie immer noch ein beredtes Beispiel für den bemerkenswerten Evolutionsprozeß, der die außergewöhnliche Ordnung der Rüsseltiere hervorbrachte.

Trotz der Ausrottung zahlreicher Arten kann sich der Elefant, der schwerste heutige Landsäuger, in Afrika und Indien in den in dieser Zeichnung gekennzeichneten Gebieten halten. In Afrika unterscheidet man gewöhnlich zwei Unterarten von Elefanten: den Großohrigen Steppenelefanten (Loxodonta africana oxyotis) und den Rundohrigen Waldelefanten (Loxodonta africana cyclotis). Auf der Karte sind die Verbreitungsgebiete dieser beiden Unterarten gelb bzw. grün eingezeichnet. Der Asiatische Elefant (Elephas maximus), dessen Lebensraum hier gleichfalls grün gezeichnet ist, umfaßt vier Unterarten, von denen drei im Bestand bedroht sind.

Die Säugetiere im Oligozän und Miozän

Das Ende der Titanotheriiden und des Arsinoitheriums

Wenn wir nun mit unserer allgemeinen Chronologie der Säugetiere fortfahren und sozusagen die Seiten der großen Enzyklopädie der Erdschichten umblättern, fallen uns zuallererst einige riesige und bemerkenswerte Huftiere auf, unter denen sich auch die uns bereits vertrauten „Donnerpferde" von Nordamerika befinden. Mit Lebewesen wie dem *Brontops,* dem *Brontotherium* und dem *Megacerops* erreichten diese Tiere während des unteren Oligozäns den Höhepunkt ihrer Entwicklung: Herden von riesigen Tieren mit harten Schädeln und kräftigen Hörnern beherrschten lange Zeit die Wälder von Nordamerika und Ostasien. Allerdings blieb von ihnen in Asien im oberen Oligozän und in Nordamerika im mittleren Oligozän keine Spur mehr; denn nach einer recht kurzen, raschen und explosiven Entwicklung starb diese sagenhafte Gruppe der *Titanotheriiden* aus.

Wenn wir jetzt unsere Aufmerksamkeit dem afrikanischen Oligozän zuwenden, begegnen wir zunächst dem riesigen *Arsinoitherium* in Ägypten, einem Mitglied der ausgestorbenen Ordnung der *Embrithopoden (Embrithopoda).* Das Tier war 3 m lang und so groß wie ein Nashorn, mit dem es eine entfernte Ähnlichkeit hatte. Sein Kopf war bemerkenswert: stark, massig und mit zwei riesigen Knochenhörnern verziert, die kegelförmig von seinem Gesicht im spitzen Winkel und mit einer leichten Krümmung nach oben und vorn abstanden. Über seinen Augen trug es ein weiteres Paar sehr viel kleinerer Hörner.

Die Zähne des Arsinoitheriums ähnelten denen der primitiven Rüsseltiere, mit denen es vermutlich verwandt war, obzwar über seinen Ursprung nichts bekannt ist. Dieses merkwürdige Tier war bereits im mittleren Oligozän von der Szene abgetreten. Von Nachfahren oder einem verwandten Seitenzweig wurden keine Spuren gefunden.

Rekonstruktion des Paraceratheriums (im Vordergrund) und einiger Vertreter des Indricotheriums. Es waren dies Riesensäuger, die im Oligozän in Asien lebten.

Riesige Nashörner ohne Nasenhorn

Der Leser erinnert sich sicher, daß das *Nashorn (Rhinozeros)* bereits im oberen Eozän die Bühne des Lebens betrat. Die vielen Spielarten, die sich in der Folge herausbildeten und auch noch im Oligozän prächtig gediehen, spalteten sich in drei Familien auf:

Unten: Rekonstruktion des Protapirus, der sich von den heutigen Tapiren kaum unterschied und erstmals während des Oligozäns in Europa und dann in Nordamerika auftrat.

Die erste Familie *(Hyracodontidae)* bestand aus leichten und schlanken Tieren, die flinke Läufer waren und als „Laufnashörner" beschrieben werden, wie z. B. das *Hyracodon* des Oligozäns in Nordamerika. Die zweite *(Amynodontidae)* setzte sich aus Wassernashörnern zusammen, schwereren Tieren, die dem Flußpferd ähnelten und auch dessen Gewohnheiten hatten. Sie lebten in Nordamerika und Asien, wie z. B. das (amerikanische) *Metamynodon* des Oligozäns. Die dritte Familie *(Rhinocerotidae)* bestand aus echten Nashörnern, die massig gebaute Landtiere waren. Alle Mitglieder dieser drei Familien des Oligozäns waren, obwohl Nashörner, noch hornlos.

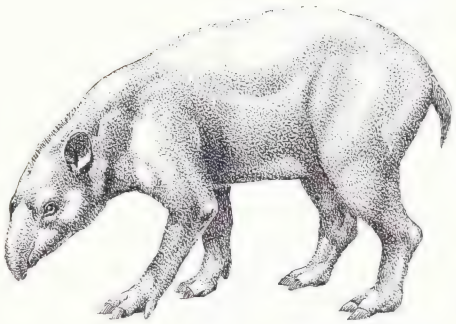
Für die Nashörner waren die Lebensbedingungen in weiten Gebieten von Asien, vom Kaspischen Meer bis nach Indien und zur Mongolei, ideal. Sie nahmen an Körpergröße zu und erreichten gelegentlich sogar phantastische Dimensionen. Der erste Riese unter ihnen war das *Indricotherium* (Schulterhöhe maximal 5 m), das während des gesamten Oligozäns lebte. Später kam das *Paraceratherium (Baluchitherium)* hinzu, das seinen ersten Auftritt im oberen Oligozän hatte. Das Paraceratherium war der größte Landsäuger aller Zeiten. Allein sein Kopf war schon 1,20 m lang. Im Bereich der Schulter war es 5,40 m hoch. Ein heutiges Nashorn würde nur zwei Drittel der Höhe der Vorderbeine dieses Tiers erreichen!

Sowohl das Paraceratherium als auch das Indricotherium lebten in kleinen Herden und fraßen die Blätter von Bäumen, die leicht zu erreichen waren. Die Tiere waren trotz ihrer riesigen Dimensionen wohlproportioniert. Während das heutige Nashorn lang und unbeholfen ist, waren diese hornlosen Lebewesen groß und relativ schlank.

Primitive Tapire und Riesenwildschweine

Was für das Nashorn gilt, von dem es in den nördlichen Gebieten, die ja seine Heimat waren, heute keine Spur mehr gibt, gilt auch für den heute auf Mittel- und Südamerika und Südostasien beschränkten Tapir; denn eine primitive Ausgabe davon, der *Protapirus,* kam im Oligozän in vielen Gebieten Europas und später auch in Nordamerika vor. Die Antwort auf das Rätsel einer solchen scheinbar unerklärlichen Verteilung können wir in den Fossilien finden. Während des Miozäns wanderten die *Tapire (Tapiridae)* nach Asien aus und breiteten sich später im frühen Pleistozän über die Landenge von Panama, die sich erneut gebildet hatte, nach Südamerika aus. Zur selben Zeit erreichten sie auch Afrika. Die letzte Krise des Pleistozäns jedoch fegte diese primitiven Unpaarhufer von der Erdoberfläche und ließ nur wenige Gruppen zurück, die auf die Gebiete beschränkt blieben, in denen sie damals lebten.

Wenn man schon bei den Unpaarhufern von einer starken Fortentwicklung während des Oligozäns sprechen kann, dann erst recht bei den Paarhufern. Es gab Tiere im Oligozän, die im allgemeinen als „Riesenwildschweine" beschrieben werden: Mitglieder der ausgestorbenen Familie der *Entelodontidae.* Ihr Kopf war lang und zugespitzt, und ihr Kiefer war mit kräftigen Eckzähnen ausgerüstet. In Europa war die Familie durch das *Entelodon,* in Amerika durch das *Archaeotherium* vertreten, dessen Schädel etwa 45 cm lang war. Die echten *Wildschweine (Sus)* entwickelten sich in Europa zusammen mit diesen großen Tieren, aber unabhängig von ihnen.



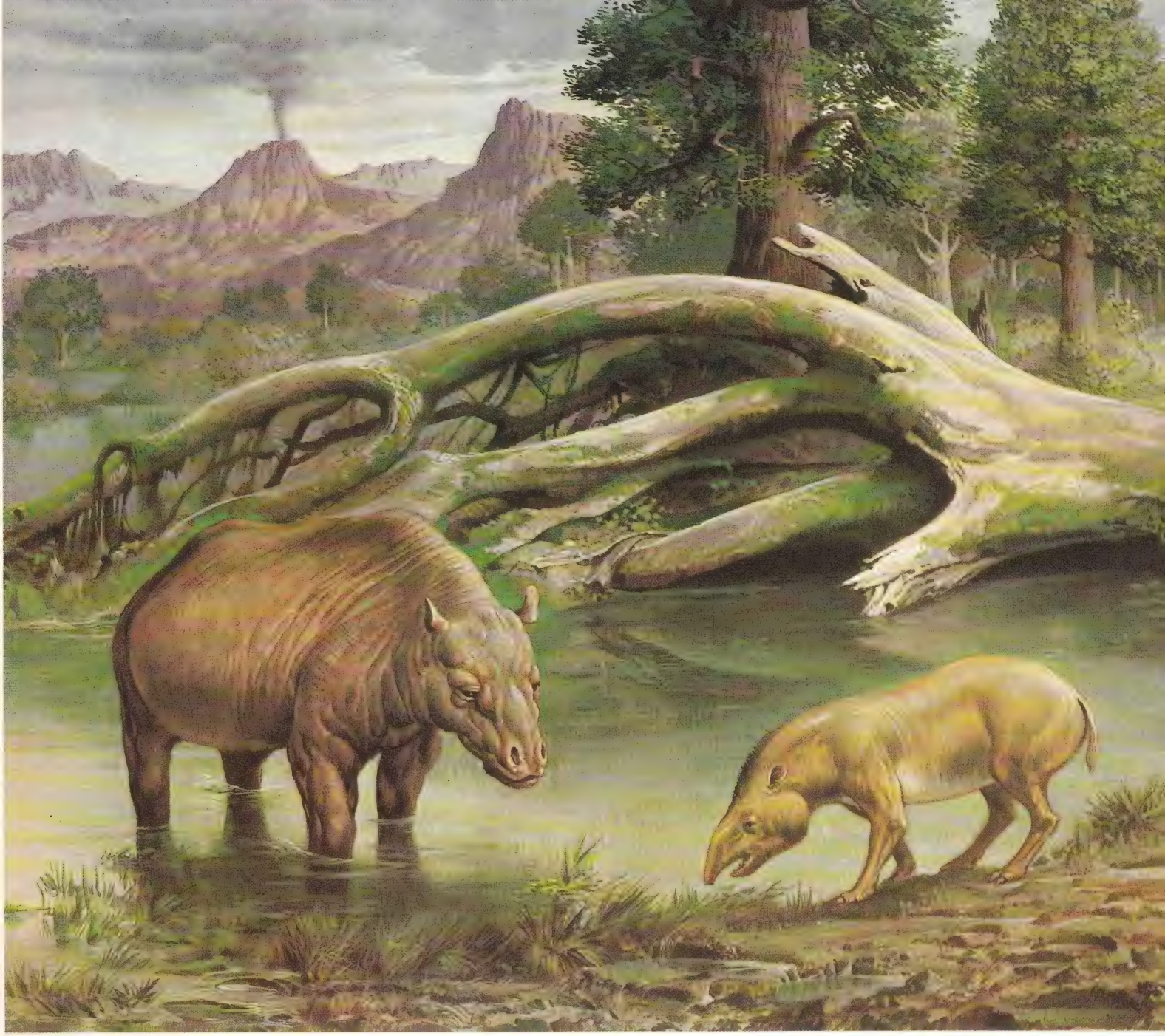
Einer weiteren ausgestorbenen Paarhuferfamilie begegnen wir mit den *Anthracotheriidae (Anthrakotherien).* Diese Familie gedieh zunächst im Eozän in Asien und Europa und wanderte dann ebenfalls nach

Der Lebensraum der rezenten Tapire (auf dem Foto ein südamerikanisches Exemplar) sind Waldgebiete in See- oder Flußnähe. Die Tapire sind ausdauernde Schwimmer und fressen am liebsten Wasserpflanzen.

Amerika und Afrika aus. Ihre Vertreter waren unbeholfen und schwerfällig. Sie ähnelten in mancher Beziehung unserem Hausschwein, in anderer wiederum dem Flußpferd. Sie tummelten sich in Flüssen, Sümpfen und Auwäldern. Von ihren Abkömmlingen war das *Anthracotherium* in Europa weit verbreitet. Das *Bothriodon,* das etwa 1,50 m lang war, gehörte zu den Arten, die später nach Amerika auswanderten. Dort hatten die Anthrakotherien kein Glück, vielleicht deshalb, weil sie auf die heftige Konkurrenz anderer Paarhufer stießen, die auf diesem Kontinent geboren waren: der Oreodonten.

Oreodonten, primitive Kamele und Säbelzahntiger

Während des Oligozäns gab es in Nordamerika mehr *Oreodonten (Oreodontidae)* als alle anderen Säugetiere zusammengenommen. Sie waren so zahlreich, daß bestimmte Erdschichten in Süddakota *Oreodontenlagerstätten* genannt werden. Zu den Oreodonten gehörten primitive Wiederkäuer, die Merkmale sowohl des Wildschweins als auch



der Anthrakotherien in sich vereinigten, so daß man sie bisweilen als „wiederkäuende Schweine" beschrieben hat. Sie waren ziemlich schwer gebaut. Einige von ihnen hatten einen kurzen Rüssel, manche sogar Klauen, viele hatten Hufe. Einer der typischsten Vertreter dieser Wiederkäuer war das *Oreodon (Merycoidodon),* das die Größe eines Hundes hatte und im unteren und mittleren Oligozän lebte.

Zusammen mit diesen Tieren, die in riesigen Herden in Wäldern, Sümpfen und offenen Steppen lebten, entwickelten sich die *Kamele (Camelidae),* die während des mittleren Oligozäns durch das recht kleine *Poebrotherium* vertreten waren. Es hatte eine entfernte Ähnlichkeit mit dem heutigen Lama, obwohl es nicht größer als ein Schaf war. Tiere dieser Gruppe entwickelten sich auch in Nordamerika. Sie breiteten sich

später auf Südamerika und die Alte Welt aus. Ein weiterer Vertreter dieser Gruppe war der sehr schlanke, rehähnlich aussehende *Protoceras,* der sechs kurze Hörner hatte, die getrennt in drei Paaren auf dem Kopf saßen und mit Haut bedeckt waren wie bei der rezenten Giraffe. Protoceras lebte im Oligozän in Amerika.

Wir können also feststellen, daß es im Oligozän zahllose Pflanzenfresser aller Größen gab. Natürlich förderte dies auch die Entwicklung der Raubtiere. Während sich einige ältere Urraubtiere wie das *Hyaenodon* noch in Amerika und in der Alten Welt halten konnten, gewannen sonst die echten Raubtiere die Vorherrschaft. An erster Stelle wären da die *Säbelzahntiger (Säbelzahnkatzen)* zu nennen, die sich auf leisen Pfoten in das obere Eozän geschlichen hatten. Sie verbreiteten jetzt

Nordamerikanische Säuger des Oligozäns; von links nach rechts: ein Subhyracodon, eines der ersten primitiven Nashörner; ein Protapirus; ein Protoceras, ein hirschähnlicher Wiederkäuer mit sechs Hörnern; ein Archaeotherium, eine Art Riesenschwein; schließlich im Hintergrund rechts ein Poebrotherium, ein urzeitliches Kamel.

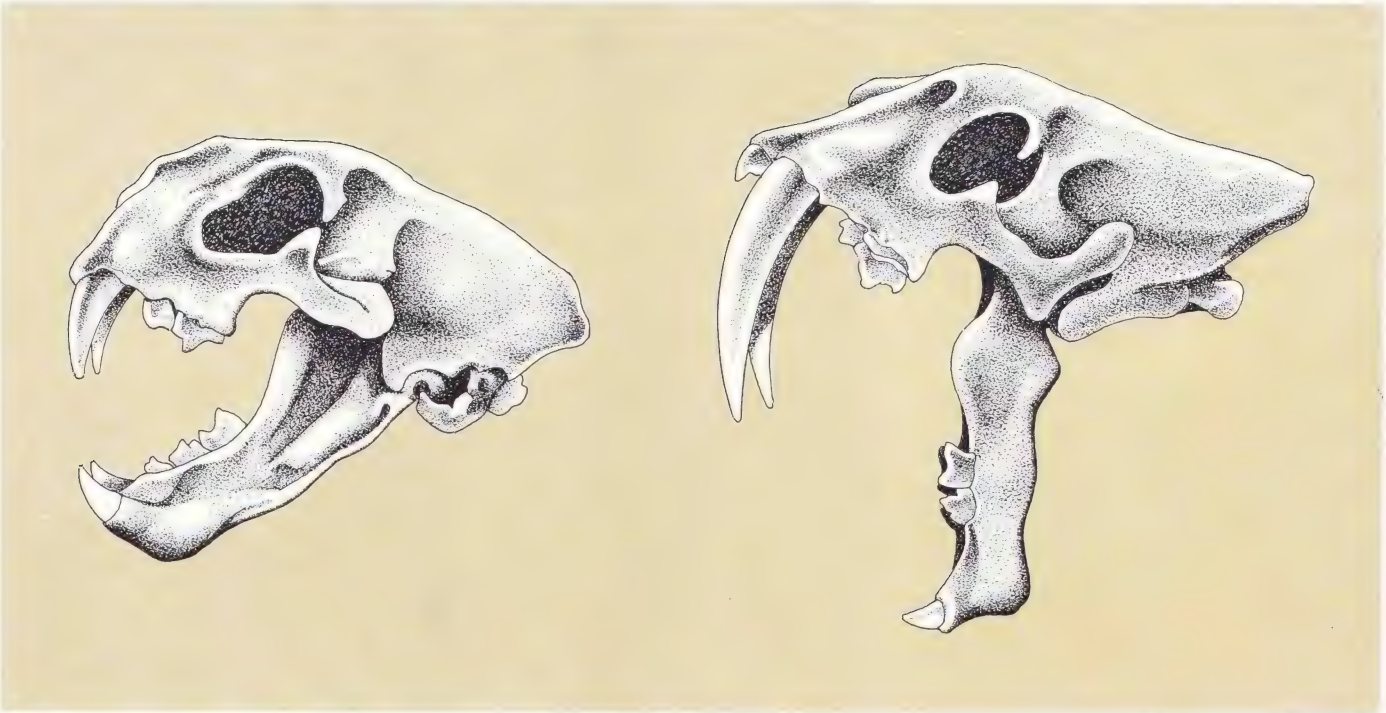
Schrecken unter den Herden der harmlosen Pflanzenfresser. Besonders gefürchtet waren der *Eusmilus* (Oligozän; Europa und Nordamerika) und der *Hoplophoneus* (Nordamerika), die fürchterlich lange und scharfe Fangzähne hatten und ihr langes Maul erschreckend weit aufreißen konnten. In Nordamerika gab es dann noch den *Dinictis,* der kürzere Fangzähne hatte und möglicherweise als Vorfahr der Katze in Betracht kommt.

Wie der Säbelzahntiger jagte

Der Säbelzahntiger war kein echter Tiger. Er unterschied sich von diesem sowohl hinsichtlich seiner größeren Dimensionen als auch hinsichtlich seines kürzeren Schwanzes. Er hatte eher Ähnlichkeit mit unserem Leoparden, auch wenn er schwerer gebaut war, und jagte wie dieser seine Beute vermutlich in der Weise, daß er sie rasch über kurze Strecken scheuchte und nicht einfach ansprang. Nicht so leicht zu rekonstruieren ist die Art und Weise, in der der Säbelzahntiger seine langen Fangzähne gebrauchte. Nur eine sorgfältige Untersuchung des Schädels dieser Riesenkatze und der Schädel einiger ihrer Opfer kann uns sagen, wie diese furchtbare Waffe funktioniert haben mag.

Jede große Raubkatze von heute schlägt zuerst die Zähne ihres Oberkiefers in ihr Opfer und schnappt dann mit dem Unterkiefer nach oben. Der Säbelzahntiger jedoch schlug seine Beute mit einer energischen Abwärtsbewegung des Kopfes, so daß die oberen Fangzähne wie Dolche tief in das Opfer eindrangen. Dabei riß er sein Maul so weit auf, daß er auch einen größeren Pflanzenfresser noch festhalten konnte, ohne ihn mit den unteren Zähnen zu berühren. Um dies bewerkstelligen zu können, mußte er starke und kräftige Kopf- und Halsmuskeln haben; Spuren davon wurden an versteinerten Knochen des Säbelzahntigers

Oben: Die Schädel eines Dinictis (links) und eines Eusmilus, zweier Raubtiere des Oligozäns.



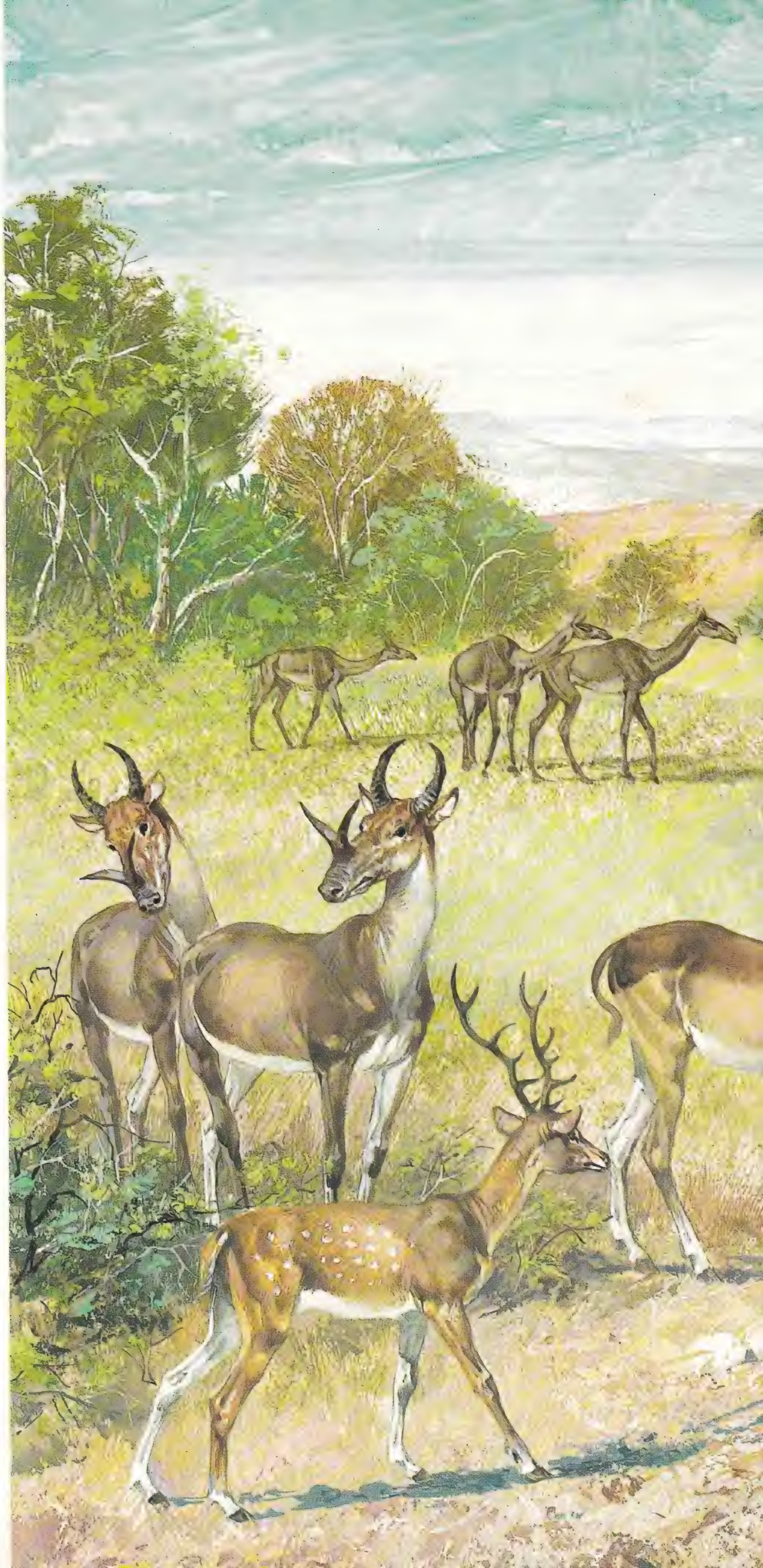
gefunden. Wenn es seine Beute erst einmal sicher im Fang hatte, schleppte dieses Raubtier sein unglückliches Opfer mit Hilfe seiner großen Fangzähne an einen sicheren Ort, um ungestört seine Mahlzeit halten zu können.

Die Paarhufer des Miozäns

Wie wir wissen, brachte das Miozän ein kälteres Klima und eine Versteppung der Landschaft mit sich, während die Säugetiere in ihrer Entwicklung eine entschieden moderne Richtung einschlugen. Die entfernten Vorfahren der Mastodonten, der Paarhufer und primitiven Unpaarhufer verschwanden zusammen mit den urtümlichen Meeressäugern. Auch gab es keine weitere Spur mehr von den Amblypoden und den Embrithopoden, jenen plumpen Riesentieren, die eine im Niedergang begriffene Tierwelt repräsentierten. Selbst die gigantischen Paraceratheriumarten verschwanden zu Beginn des Miozäns von den Ebenen Asiens. Andererseits ähnelten die Landschaften des Miozäns unseren heutigen Landschaften mehr als diejenigen aller vorausliegenden Epochen, und viele Tiere dieser Zeit, auch wenn sie sich noch so sehr von den entsprechenden heutigen Tierarten unterschieden haben mögen, gehörten doch Tierfamilien an, die noch heute vertreten sind.

Unter den Huftieren waren die Paarhufer den Unpaarhufern durch ihren Artenreichtum weit überlegen. Mit dem Paarhufer *Daeodon (Dinohyus),* einem schrecklichen Viech von der Größe eines Bisons, mit einem riesigen Kopf und fürchterlichen Zähnen, erreichten die Entelodontidae im unteren Miozän den Höhepunkt ihrer Entwicklung. Ihre ökologischen Nischen nahmen hernach echte Wildschweine ein, wie das *Listriodon,* das im Miozän in Afrika, Europa und Asien lebte. Zusammen mit dem Daeodon traten in Nordamerika noch zahlreiche

Oben: Der Vergleich zwischen der Kieferöffnung eines Machairodus (rechts) und einer heutigen Raubkatze (links) zeigt, auf welch unterschiedliche Art und Weise beide ihre Beute packten bzw. packen.



Paarhufer des nordamerikanischen Miozäns; von links nach rechts: einige Exemplare von Syndyoceras, ein Paar Cranioceras, im Hintergrund ein Alticamelus, rechts zwei Vertreter von Daeodon.

andere Paarhufer auf, u. a. verschiedene Oreodontidae, darunter der *Promerycochoerus.*

Während alle diese Familien heute ausgestorben sind, setzten die Kamele ihre Evolution fort und verzweigten sich zu immer schlankeren Formen, wie z. B. dem *Oxydactylus,* der ca. 2,50 m lang war und einen sehr schlanken Hals und schlanke Beine hatte, und dem *Alticamelus,* der einen außergewöhnlich langen Hals besaß und ca. 3,60 m hoch war.

Die Vorfahren der *Giraffen (Giraffidae)* traten gegen Ende des Miozäns sowohl in Europa als auch in Asien auf den Plan. Mit ihnen zusammen galoppierten bereits echte *Hirsche (Cervidae)* über die Weiden der Alten Welt, darunter der *Dicrocerus,* der ein kurzes und dickes Geweih mit vier Enden hatte, und der *Stephanocemas,* der ebenfalls ein kurzes Geweih, jedoch mit mehr Enden hatte.

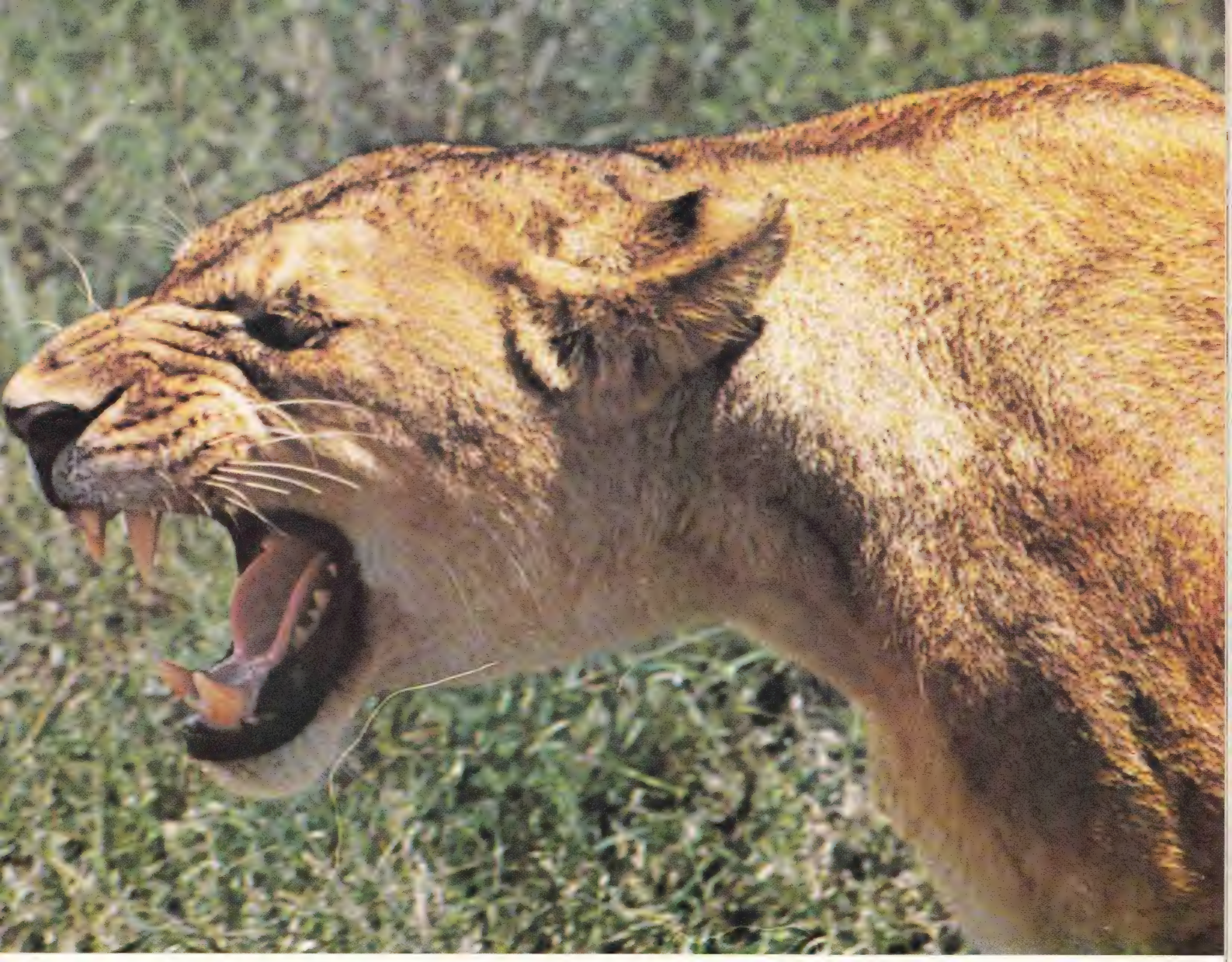
In Amerika gab es hirschähnliche Tiere, die jedoch keine echten Hirsche waren, darunter der schlanke und mit anmutigem Gehörn ausgestattete *Cranioceras* und Abkömmlinge des *Protoceras* aus dem Oligozän. Die letzteren trugen sechs kleine Hörner, von denen sich die beiden mittleren allerdings bald wieder zurückbildeten. Weiterhin sind unter diesen hirschähnlichen Tieren der *Syndyoceras,* bei dem sich zwei Hörner über den Augen und zwei weitere auf der Mitte seiner langen Nase entwickelt hatten, und dessen Nachfahre im Miozän, der *Synthetoceras,* zu nennen, bei dem die beiden vorderen Hörner zu einem einzigen Horn mit zwei Spitzen, die in verschiedene Richtungen zeigten, verwachsen waren. Ein solches gegabeltes Horn war sicher eine gefürchtete Waffe bei den Rivalenkämpfen zwischen den Männchen.

Unpaarhufer und andere Säuger des Miozäns

Im Miozän entstanden im Zuge einer Auseinanderentwicklung der Unpaarhufer die Nashörner, Tapire und kleinen Pferde. Neben diesen Gruppen existierte noch ein anderer primitiver Zweig, die ausgestorbene Familie der *Chalicotheriidae,* die bereits im Eozän vorhanden gewesen waren: mächtige Tiere, die Hufe anstatt Klauen hatten. Einer ihrer typischen Vertreter war der nordamerikanische *Moropus,* der etwa 2,70 m lang war und einen Pferdekopf hatte, während sein Rücken kurz und tapirähnlich gekrümmt war. Seine Vorderbeine waren länger als seine Hinterbeine, und seine Füße hatten, wie es sich für einen Unpaarhufer gehört, drei Zehen. Untypisch für einen Unpaarhufer waren die Klauen dieses Tiers. Man nimmt an, daß der Moropus seine Klauen dazu benutzte, den Boden nach Schößlingen und Wurzeln aufzuscharren, die möglicherweise seine Hauptnahrung darstellten.

Dem *Säbelzahntiger* erging es im Miozän noch besser als im Oligozän, da pflanzenfressende Beutetiere reichlicher als je zuvor vorhanden waren. Erwähnen wollen wir dabei v. a. den *Machairodus,* der zunächst in Europa auftrat, später im Pliozän dann auch nach Afrika und Amerika auswanderte. Er war ein gieriger Räuber, so groß wie ein Löwe, und hatte spitz zulaufende und riesige Fangzähne. – Auch die *Hyäne* trat jetzt auf den Plan, womit die Nahrungskette in der Welt der großen Säuger ein entschieden modernes Aussehen erhielt.

In den Meeren des Miozäns schwammen Delphine, Pottwale und andere, noch primitive Wale. Auch die Robben drangen von den küstennahen Gewässern ins offene Meer vor. Es gab ferner merkwürdige Lebewesen der ausgestorbenen Ordnung der *Desmostylier (Desmostylia),* die in den Küstengewässern des Pazifischen Ozeans zu Hause waren. Es handelte sich um riesige Wassertiere mit flußpferdähnlichem



Körper, die erstaunlich gut entwickelte Beine hatten. Einer ihrer Hauptrepräsentanten, der *Desmostylus,* hatte bei einer Kopflänge von 80 cm kleine, über Kreuz stehende Hauer (wie das primitive ägyptische Mastodon), die aus einem langen Kiefer herausragten. Es ist wahrscheinlich, daß diese Tiere, die mit den Rüsseltieren und den Seekühen verwandt waren, in Afrika entstanden und dann auswanderten.

Nahaufnahme einer Löwin. Wie im Zeitalter des Machairodus stehen am Ende der Nahrungsketten von heute fleischfressende Raubtiere. Der Löwe jagt nur, wenn er hungrig ist, und schlägt sich nach jedem erfolgreichen Beutezug den Bauch voll. Die übrige Zeit döst er meist vor sich hin.

Merkwürdige Südamerikaner des Känozoikums

Der Leser wird sich aus dem Kapitel über das Känozoikum erinnern, daß es während fast des gesamten Känozoikums keine Landbrücke zwischen Nord- und Südamerika gegeben hatte. Ein anfangs vorhandener Landstreifen wurde später überflutet, so daß sich viele Millionen Jahre lang die Wasser des Atlantischen und des Pazifischen Ozeans mischten. So war Südamerika damals eine riesige Insel, auf der sich eine merkwürdige eigenständige Säugetierfauna in einer Art und Weise entwickelte, die sich beträchtlich von dem bisher Beschriebenen (in bezug auf Nordamerika und die Alte Welt) unterschied.

Ungewöhnlich an dieser Entwicklung ist zunächst das reiche Vorkommen von Beuteltieren, die unterschiedliche ökologische Nischen besetzten – eine Situation, wie sie heute in Australien gegeben ist. Noch erstaunlicher mutet uns das Fehlen jeglicher fleischfressender Plazentatiere der Ordnung Carnivora (Raubtiere) an. Unter den Beuteltieren gab es einige wenige Fleischfresser (Raubbeutler), die im Miozän im wesentlichen durch den etwa wolfsgroßen *Prothylacinus* (dem zeitgenössischen Beutelwolf auf Tasmanien vergleichbar, der vermutlich vor kurzem ausgestorben ist) und die wesentlich größere *Borhyaena,* die die Größe eines Bären hatte, vertreten waren.

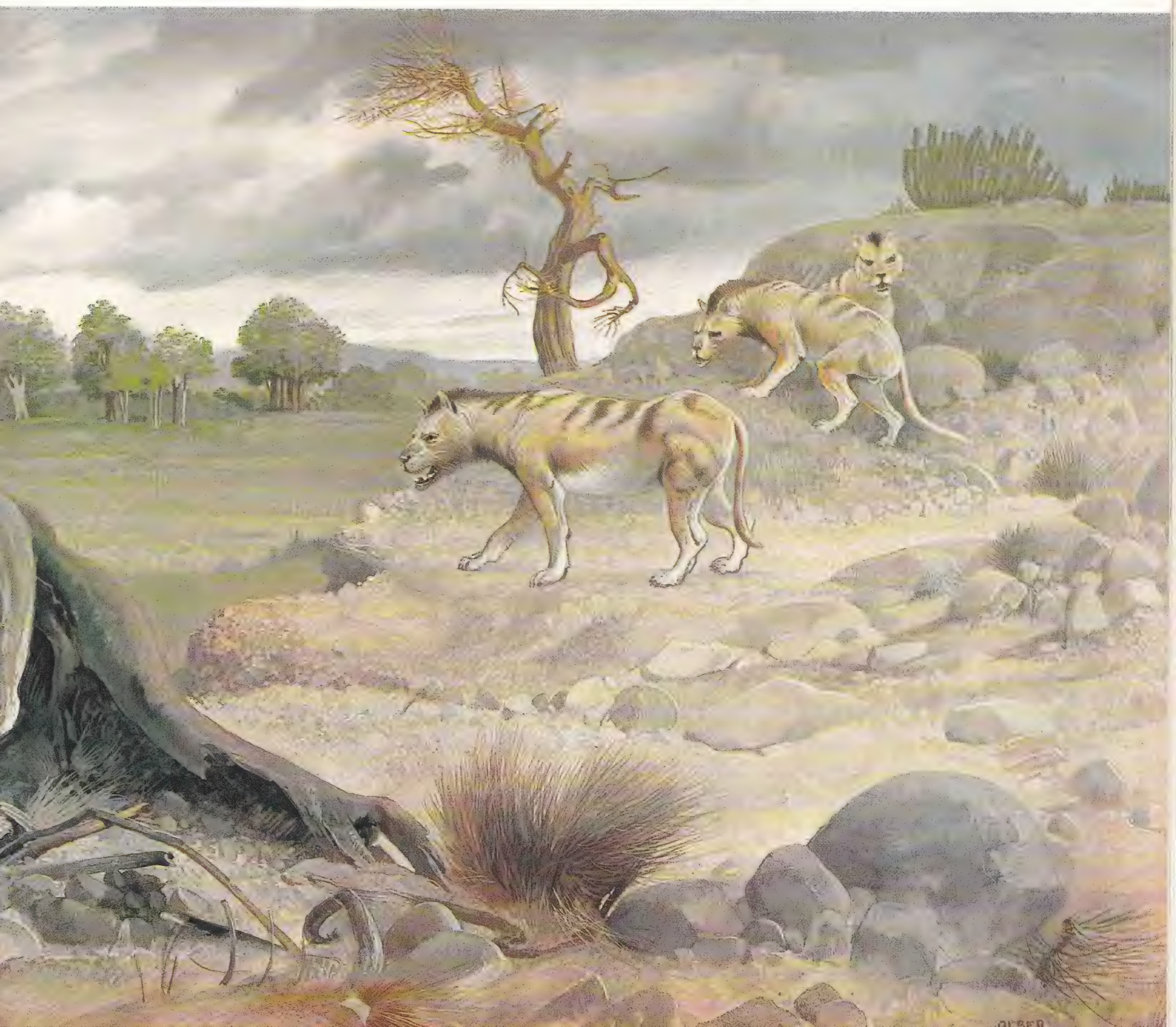
Ein weiteres auffallendes Merkmal dieser Entwicklung ist die Entstehung der Ordnung der sog. *Zahnarmen (Edentata),* zu denen die Ameisenbären, Faultiere und Gürteltiere gehören. Einige primitive Vertreter dieser Ordnung wurden in alten Schichten des Känozoikums

Männchen und Weibchen des Theosodons halten sich bereit, ihr Junges gegen den Angriff einiger Raubbeutler der Gruppe Borhyaena zu verteidigen. Alle diese Säugetiere lebten ausschließlich in Südamerika während des Miozäns.

und des Oligozäns in Nordamerika gefunden, so daß zu vermuten ist, daß die ganze Gruppe ihren Ursprung in Nordamerika nahm. Vermutlich gediehen sie dort nicht, da sie in Konkurrenz mit vielen höherentwickelten Säugern lebten, und starben bis auf einige Zweige, die nach Süden auswanderten, aus. In Südamerika erlebten die Edentata dann eine solche Blüte, daß sie für das Oligozän bereits als typische Repräsentanten dieses Erdteils anzusehen sind. Es entwickelten sich sogar Großformen, die in den auf das Miozän folgenden Epochen ganze Dynastien von Riesen hervorbrachten.

Das Phänomen der Konvergenz

Außer den oben beschriebenen Lebewesen gab es (und gibt es) in Südamerika recht merkwürdige Formen von Affen und großen Nagetieren. Das in biologischer Hinsicht erstaunlichste Phänomen jedoch ist die



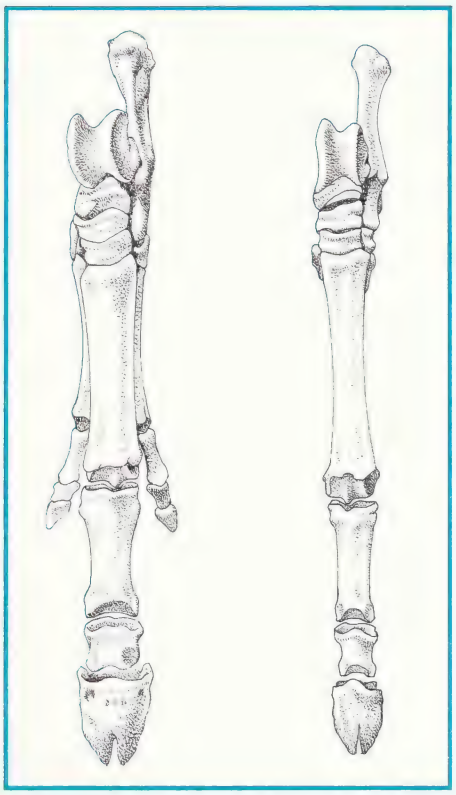
Unten: Die Hintergliedmaße eines Diadiaphorus (links) und eines Thoatheriums (rechts), zweier ausgestorbener Huftiere des Miozäns aus Patagonien. Man beachte, daß die Evolution der Gliedmaßen wie beim Pferd von der Mehrzehigkeit zur Einzehigkeit verlief.

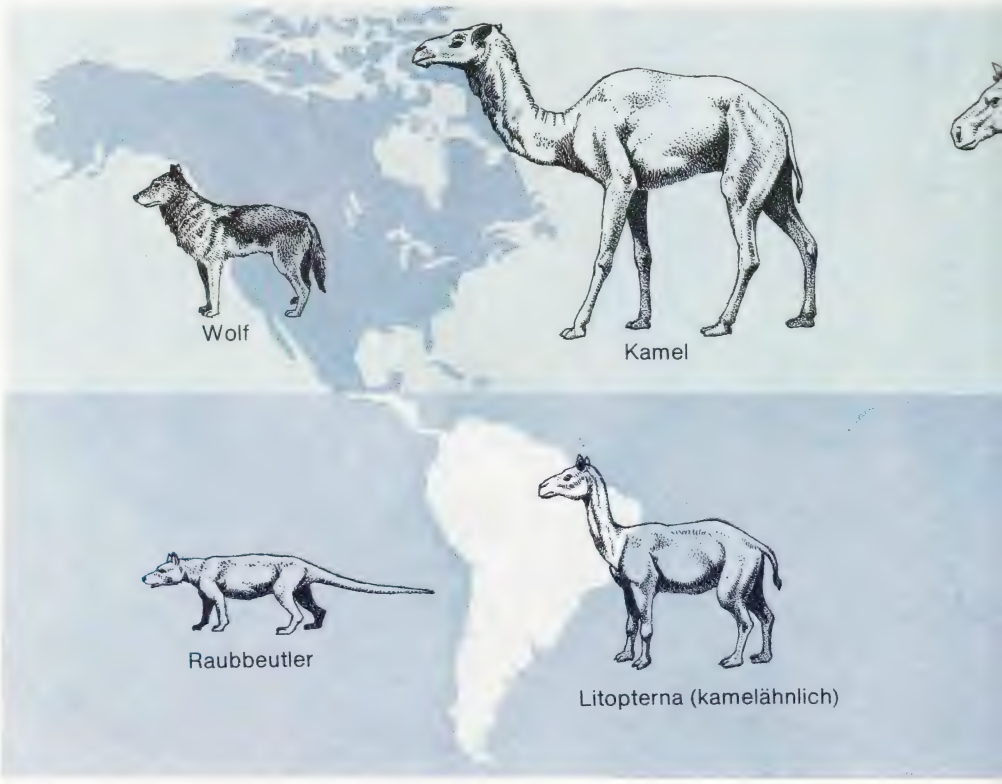
Tatsache, daß sich im Känozoikum in Südamerika zahlreiche Huftiere aus unterschiedlichen Gruppen (in vergleichbaren Lebensräumen) parallel zu ähnlichen Huftieren in anderen Erdteilen entwickelten, obwohl es zwischen den einen und den anderen absolut keine Verwandtschaft gab. Die Biologen nennen dieses Phänomen, das schon im frühen Mesozoikum bei den Ichthyosauriern delphinähnliche Formen und bei den Laufsauriern straußenähnliche hervorgebracht hatte, *Konvergenz.*

Betrachten wir uns z. B. die ausgestorbene Ordnung der *Südhuftiere (Notoungulata).* Für diese größte Gruppe unter den südamerikanischen Huftieren schlug die erste Stunde ihrer Geschichte (oder vielmehr desjenigen Teils ihrer Geschichte, der den Paläontologen bekannt ist) im oberen Paleozän. Damals war diese Ordnung überall auf der Welt vertreten, von Asien bis nach Patagonien. Nach dem unteren Eozän jedoch war das Vorkommen dieser Gruppe bereits auf Südamerika beschränkt. Dort mußten ihre Abkömmlinge nicht mit moderneren Huftierformen (weder mit Paarhufern noch mit Unpaarhufern) konkurrieren, und ebensowenig waren sie, wenigstens am Anfang, von Fleischfressern bedroht. So kommt es, daß sich bereits im Eozän ziemlich massige Formen wie *Thomashuxleya* (Körperlänge 1,50 m) und – später (im Miozän) – *Homalodotherium* (Körperlänge 1,80 m) entwickelten. Das letztere hatte starke Ähnlichkeit mit dem bereits beschriebenen Moropus; denn es verfügte über Klauen, wobei allerdings seine Vorderbeine kürzer als seine Hinterbeine waren. Eine weitere Variante war das *Nesodon,* das so groß war wie ein Tapir und während des Miozäns in vielerlei Hinsicht den hornlosen Nashörnern von Nordamerika ähnelte.

Weitere Huftiere in Südamerika

Zwei weitere ausgestorbene Ordnungen der Huftiere, *Litopterna* und *Astrapotheria,* kamen ausschließlich in Südamerika vor. Die interessantere von beiden war Litopterna (die sich in zwei Äste aufspaltete, von denen der eine dem Kamel, der andere dagegen dem Pferd ähnelte), weil





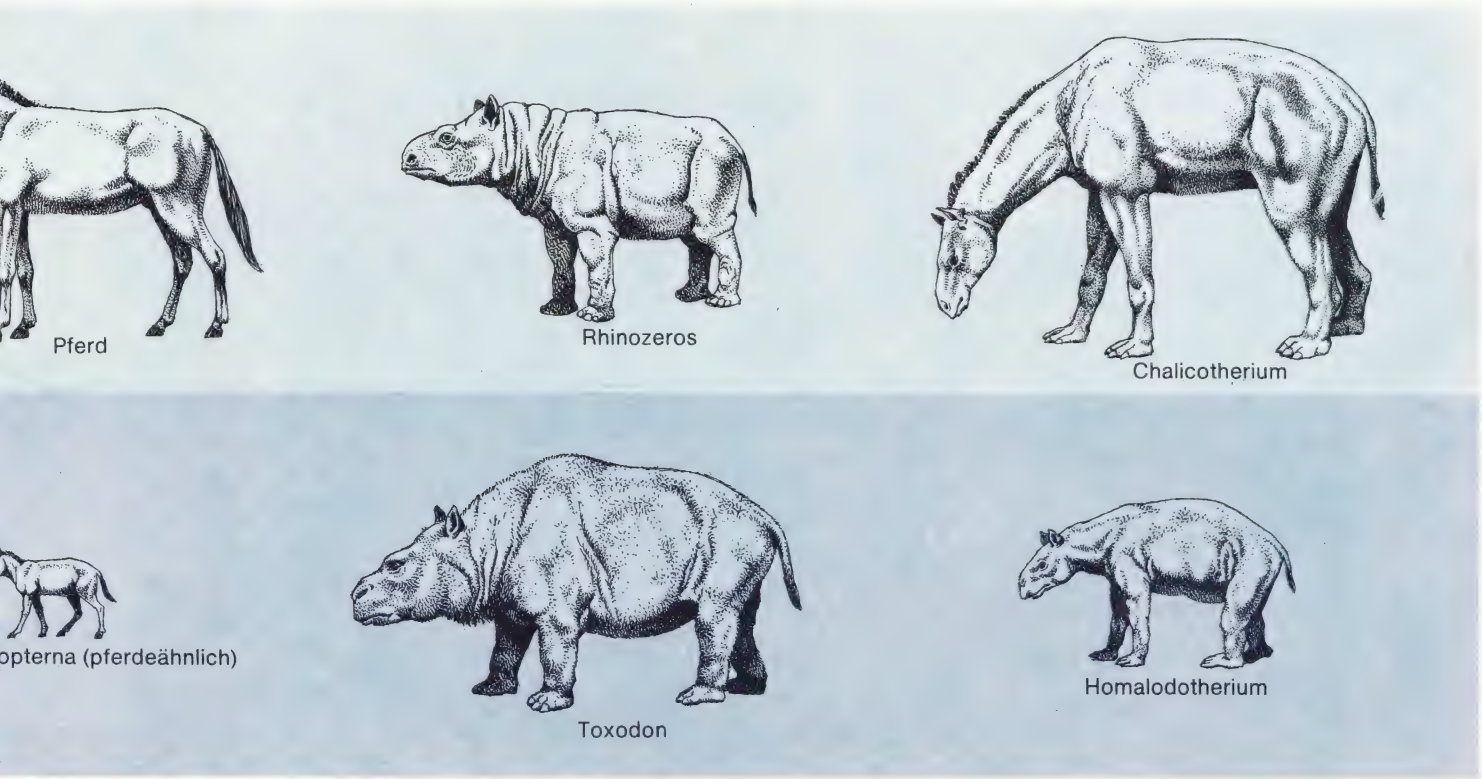
ihre Vertreter ebenfalls bemerkenswerte Konvergenzerscheinungen zeigten: Das *Theosodon* des Miozäns z. B., das 1,80 m lang war, zeigte eine verblüffende Ähnlichkeit mit den damals in Nordamerika lebenden Kleinkamelen und mit dem heutigen Lama. Ebenso gab es eine starke Analogie zwischen dem Diadiaphorus und dem Thoatherium einerseits und dem nordamerikanischen Pferd andererseits.

Die Entwicklung der südamerikanischen Huftiere von Dreizehern zu Einzehern mit Huf verlief verblüffend rasch. Im Vergleich zu dem, was mit dem echten Pferd in Nordamerika geschah, war diese Entwicklung gleichsam sprunghaft. Der *Diadiaphorus,* der im frühen Miozän erschien, hatte an jedem Fuß eine stark entwickelte dritte Zehe mit einem Huf und zwei verkümmerte Seitenzehen, die den Boden nicht berührten. Das *Thoatherium* (beinahe ein Zeitgenosse des Diadiaphorus), hatte auch nur einen Huf, wobei die beiden anderen Zehen sogar noch rudimentärer waren als beim heutigen Pferd. Sonst war jedoch der Körper des Thoatheriums für einen raschen Galopp über offene Flächen nicht gut geeignet. Deshalb konnten sich diese „Pseudopferde" (von denen die größten so groß wie ein Pony waren), die im frühen Miozän in Herden Patagonien durchstreiften, nicht sehr lange halten. Das (am weitesten spezialisierte) Thoatherium starb noch vor den anderen aus und verschwand im mittleren Miozän, während der Diadiaphorus bis zum beginnenden Pliozän überlebte.

Auch ohne die bereits besprochenen Konvergenzerscheinungen wäre das *Astrapotherium* interessant genug, erwähnt zu werden. Es lebte vom Oligozän bis zum Ende des Miozäns. Bei einer Körperlänge von rund 3 m hatte es einerseits eine entfernte Ähnlichkeit mit dem heutigen Tapir, andererseits (bezüglich seines primitiven Körperbaus) aber auch mit dem Uintatherium des Eozäns von Nordamerika. Es hatte riesige, zu Stoßzähnen umgebildete Eckzähne und einen kleinen Rüssel.

Die *Pyrotheria* des Eozäns und Oligozäns hatten bestimmte äußerliche Merkmale, die entweder (mehr oder weniger) denen der Astrapotheria oder denen der frühen Mastodonten ähnelten. Das *Pyrotherium* des Oligozäns, das in Ablagerungen in Patagonien gefunden wurde,

Einige Beispiele für Konvergenz bei Säugetieren aus Nord- und Südamerika, die zum größten Teil ausgestorben sind.



hatte ungefähr die Dimensionen eines Elefanten, wenn es auch etwas länger und nicht ganz so hoch wie ein Elefant war. Es hatte zu Stoßzähnen umgebildete Schneidezähne und einen ziemlich langen Rüssel. Man nimmt an, daß es ein Abkömmling desjenigen primitiven Säugetierstamms war, der einst das Barylambda, das Coryphodon und das Uintatherium hervorgebracht hatte (die wir ja alle bereits kennen). Einige Wissenschaftler tendieren allerdings dazu, die Pyrotheria den (ebenfalls bereits besprochenen) Amblypoda als deren letzte Überlebende zuzuordnen.

Räuberische Vögel

Die Gesamtübersicht über alle die erstaunlichen Tiere, die in diesem riesigen Gebiet „Südamerika" während des Miozäns lebten, wäre unvollständig, würden wir nicht einen Abstecher zu den Vögeln machen, wie wir ihn bereits in unserem Bericht über das Eozän mit dem

Der Kopf eines Astrapotherium magnum, eines südamerikanischen Huftiers, dessen Überreste in den unteren Schichten des Miozäns in Patagonien zu finden sind. Dem Aussehen nach dem Uintatherium ähnlich, hat es jedoch einen Rüssel und muß ein amphibisches Leben geführt haben.

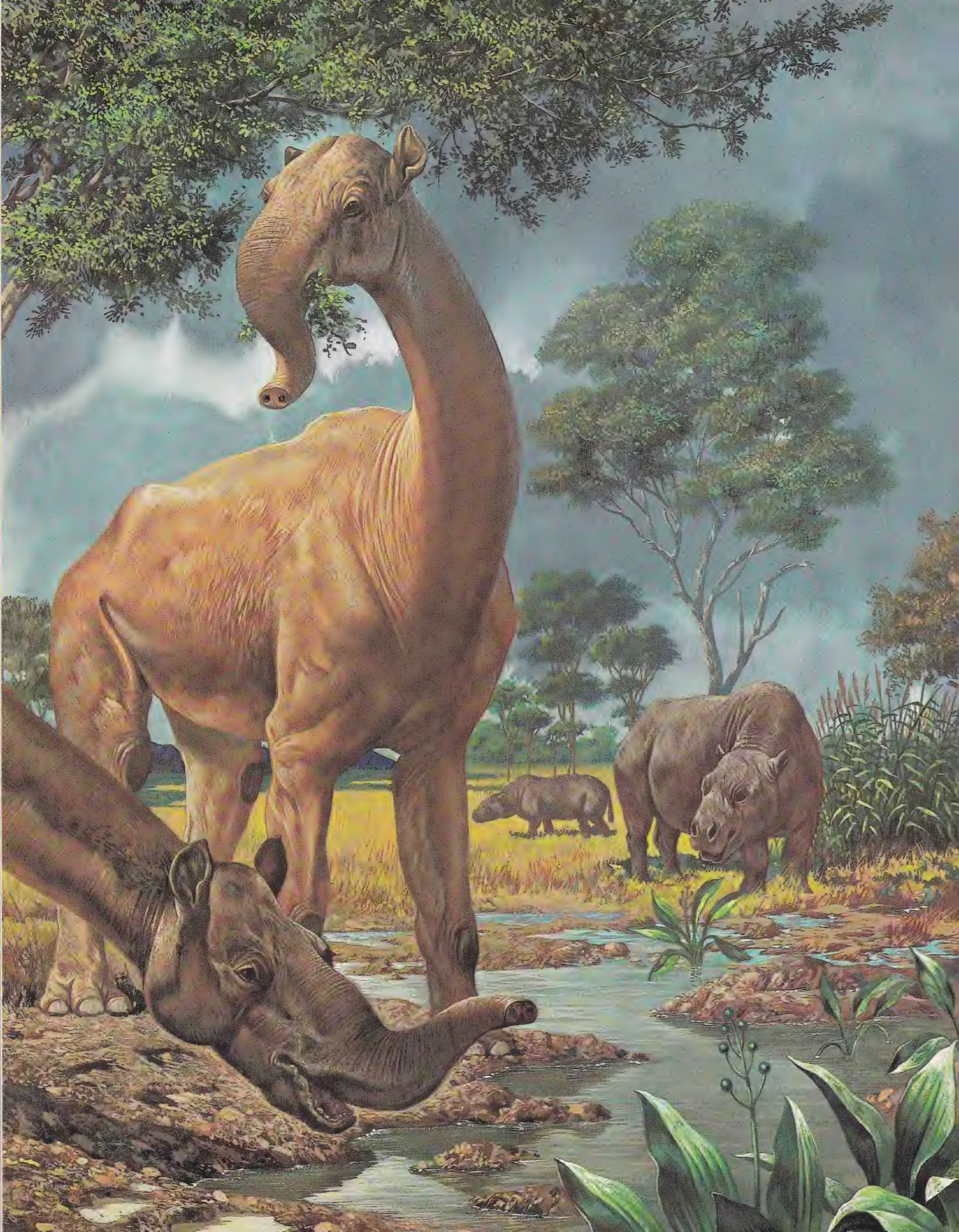
nordischen Raubvogel Diatryma gemacht haben. Es gab in Südamerika während des Miozäns einige große, flugunfähige Vögel, die sich in ähnlicher Richtung wie Diatryma spezialisiert hatten: Durch das Fehlen echter Raubtiere auf dem südamerikanischen Kontinent hatten diese Vögel ein überreiches Nahrungsangebot und konnten ihrerseits, ohne irgendwelche Angriffe befürchten zu müssen, räuberische Gelüste entwickeln.

Der bekannteste unter diesen räuberischen Vögeln des Miozäns war der *Phororhacos.* Er war 1,50 m groß und hatte kräftige Beine, die einen starken Kontrast zu seinen schwachen Stummelflügeln bildeten. Sein Kopf war so groß wie der eines Pferdes und hatte einen starken, adlerartig gebogenen Schnabel. Der flugunfähige Phororhacos rannte über die grasbestandenen Ebenen und Hochebenen von Patagonien

und verbreitete Schrecken unter den kleinen Säugern. Andere erbarmungslose Vögel von unterschiedlicher, jedoch ähnlicher Größe jagten auf dieselbe Art und Weise.

Mit diesem Bild der Kraft und Wildheit ist unsere Übersicht über Südamerika vom frühen Känozoikum bis zum Miozän abgeschlossen. Wir haben einige seltsame Tiere kennengelernt, die uns nicht zuletzt gezeigt haben, wie sich die Kräfte der Evolution in Gebieten auswirken, die von anderen Gebieten durch das Meer abgeschnitten sind.

Rekonstruktion eines Phororhacos, eines riesigen, flugunfähigen Vogels, der gegen Ende des Miozäns in Südamerika lebte. Seine mächtigen Klauen und sein stark entwickelter Hakenschnabel belegen seine räuberischen Lebensgewohnheiten.



Das Pliozän und das Pleistozän

Recht moderne Säugetiere

Das *Pliozän,* das auf das Miozän folgte, beendete das Tertiär. Während des Pliozäns baute sich die antarktische Eiskappe weiter auf, bis sie eine halbe Million Jahre vor dem Ende des Tertiärs vollständig war. Auch das Klima verschlechterte sich weiterhin; es wurde immer noch kälter.

Die damals existierenden Säugetiere hatten bereits große Ähnlichkeit mit den heutigen. Rund 80% der Säugetierfamilien, die während des Pliozäns in der Alten Welt und in Nordamerika vorhanden waren, sind auch heute noch vertreten. Darüber hinaus traten zahlreiche rezente Gruppen, insbesondere bei den Raub- und Nagetieren, im Pliozän erstmals in Erscheinung. Außerdem gilt es festzuhalten, daß zwischen den damaligen Vertretern einer bestimmten Gruppe und den entsprechenden rezenten Vertretern vielfach nur minimale Unterschiede bestanden. Es wäre also durchaus vertretbar, manche Säugetiere von damals schon als recht „modern" zu bezeichnen.

Zu Beginn des Pliozäns war die Säugetierfauna in der Alten Welt, von Spanien bis China, ziemlich gleichförmig und ähnelte der des heutigen Afrikas. In der nordamerikanischen Fauna gab es dagegen einige Unterschiede: Während in der Alten Welt damals eine üppige Entwicklung bei Rindern, Hirschen und Giraffen einsetzte, gilt das gleiche in der Neuen Welt für die Kamele und für die Gabelhorntiere (Antilocapridae).

Das Nashorn, das Mastodon, der Bär, der Wolf und der unvermeidliche Säbelzahntiger waren überall vertreten. Legionen von Nagetieren und Insektenfressern bevölkerten die Wälder, Prärien und Steppen zusammen mit den größeren Säugern, wie sie das seit jeher getan hatten. Die Pottwale, die riesigen Meeressäuger, die von Kraken lebten, beherrschten zusammen mit anderen Walen die Meere.

Rekonstruktion von Macrauchenia (links) und Toxodon, zweier Huftiere des Pliozäns in Südamerika. Man glaubt, daß der kleine Rüssel den Macrauchenia dazu diente, die Blätter kleiner Bäume abzuweiden. Im Gegensatz zu den ziemlich schlanken Macrauchenia war das riesige Toxodon ein massiges Tier, das wie ein hornloses Nashorn aussah. Es hatte amphibische Lebensgewohnheiten.

Südamerikanische Spezialitäten

Die besonderen Bedingungen, die zuvor schon für Südamerika galten, waren weiterhin von Bedeutung. Die Raubbeutler erreichten mit dem *Thylacosmilus* den Höhepunkt ihrer Entwicklung. Dieses Tier war so groß wie ein Leopard, sehr behend, von katzenartiger Gestalt und hatte riesige obere Fangzähne, genau wie der Säbelzahntiger der nördlichen

Das Neunbindengürteltier (Dasypus novemcinctus) aus Brasilien und Venezuela zeigt eine einzigartige Besonderheit: Es bringt stets eineiige Vierlinge zur Welt.

Hemisphäre. Der Thylacosmilus mußte mit gefährlichen räuberischen Vögeln konkurrieren. Zwar war der Phororhacos von der Bühne abgetreten, doch hatten andere gefiederte Räuber, die zuweilen sogar noch größer waren, seine Stelle eingenommen: z. B. der 1,50 m große *Andalgalornis,* der 1,80 m große *Hermosiornis* und als größter von allen der 2,40 m große *Onactornis;* allein der Schnabel des letzteren war schon 37 cm lang!

Friedliche Pflanzenfresser, die sich den Lebensraum mit diesen Räubern teilen mußten und bisweilen riesenhafte Größe erreichten, waren in ungeheurer Zahl vorhanden. Andererseits waren bereits viele der außergewöhnlichen Huftiere dahingegangen. Darüber konnte auch das 2,70 m lange, einem hornlosen Nashorn vergleichbare *Toxodon* aus der Gruppe der *Südhuftiere (Notoungulata)* nicht hinwegtäuschen. Die *Litopterna* erlebten mit dem Aufkommen der *Macrauchenia* ebenfalls eine letzte Blüte. Sie war etwa so groß wie ein Kamel und hatte auch sonst eine gewisse Kamelähnlichkeit, trotz des sehr seltsamen Kopfes, der einen gut entwickelten, muskulösen Rüssel aufwies, der von der

Ein Greifstachler (Coendu), ein süd- und mittelamerikanisches Nagetier.

oberen Kopfhälfte ausging. Anscheinend weidete die Macrauchenia wie die heutige Giraffe die oberen Zweige von Bäumen ab.

Neben solchen Huftieren gab es zahlreiche Arten von Gürteltieren, Ameisenbären und Faultieren, die alle eine starke Tendenz zu immer größeren Formen erkennen ließen. Diese gesamte komplexe Fauna war gegen Ende des Pliozäns als Folge des Entstehens der Landenge von Panama, die umfangreiche Wanderungen von Tieren zwischen den beiden amerikanischen Kontinenten zuließ, einem Umwandlungsprozeß unterworfen. Wir werden noch darauf zurückkommen.

Die Situation zu Beginn des Pleistozäns

Als das *Pleistozän* heraufkam, bestand die antarktische Eiskappe bereits lange Zeit, und das Eis häufte sich auch auf den Hochebenen Grönlands an. Wie wir in dem Kapitel über das Känozoikum erfahren haben, gab es möglicherweise bereits früh im unteren Pleistozän ein erstes Vordringen des Eises von allerdings bescheidenen Ausmaßen. Sicher ist jedenfalls, daß Grönland vor rund eineinhalb Millionen Jahren von einem dicken

Die Nilpferde von heute (Hippopotamus amphibius) verbringen die meiste Zeit des Tages wie schon ihre Vorfahren aus dem späten Pliozän und dem Pleistozän im Wasser. Zur Nahrungsaufnahme gehen diese Grasfresser besonders nachts an Land.

Eismantel bedeckt wurde und sich kurz darauf auch Eis in den Hochlagen von Europa und Asien ansammelte. Allmählich verdickten sich diese Eisschilde im Laufe unzähliger Winter und wurden kompakter, ein Vorspiel für die vier großen Eisinvasionen, die in der Folge stattfanden. In der Zwischenzeit wurde das Klima kälter, trotz der warmen Zwischeneiszeiten, und erreichte seinen Temperaturtiefpunkt bei der letzten Vereisung vor einigen zehntausend Jahren.

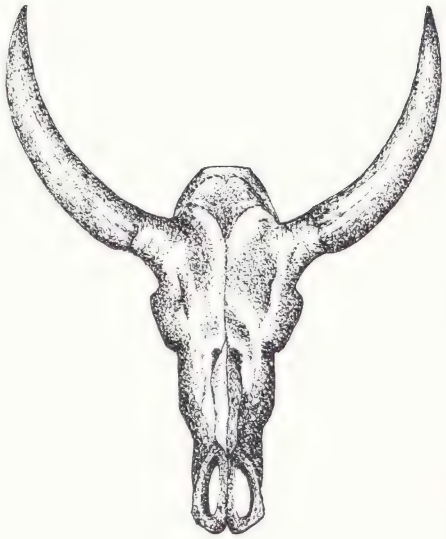
Nichtsdestoweniger gab es in den gemäßigten Klimazonen der Erde während der Anfangsphase des Pleistozäns viele Typen von Säugetieren, die eine starke Ähnlichkeit mit heutigen tropischen Arten hatten. Überreste solcher Tiere sind in Europa in den oberen Schichten eines fossilienreichen Komplexes von Seenablagerungen zu finden, der unter dem Namen *Villafranchium* bekannt ist.

Ein klassisches Beispiel hierfür findet sich im Arnotal, unweit von Florenz in Italien. Dort, wo sich heute die grünen Hügel des Apennins erstrecken, lagen zu Anfang des Quartärs stille Seen, die weitgehend von

wildwuchernden Wäldern umgeben waren. Der Baumbestand war einerseits typisch für die gemäßigten Klimazonen, es gab aber auch Lorbeerbäume, Magnolien und Kampferbäume. Typische Säuger von Europa und Afrika lebten dort nebeneinander. Riesige Elefanten *(Archidiskodon meridionalis),* zweihörnige Nashörner *(Dicerorhinus etruscus)* und schlanke Rinder, die eher Antilopen ähnelten *(Leptobos etruscus),* weideten am Rand dieser Seen. Bären *(Ursus etruscus)* streiften zwischen den Bäumen umher, und Pferde galoppierten über die freien Flächen, auf denen Hirsche mit kompliziert verzweigtem Geweih *(Cervus dicranios)* das Gras abrupften. Riesige Flußpferde *(Hippopotamus major),* die viel schwerer und größer als ihre heutigen Vettern waren, suhlten sich in Ufernähe in den Seen und Flüssen.

In Zentralafrika gab es während des Villafranchiums eine sehr abwechslungsreiche Säugetierfauna. Zusammen mit modernen Elefanten lebten dort in großen Herden die mächtigen und urtümlichen *Dinotherien (Dinotherioidea),* die riesige, nach unten gebogene Stoßzähne hatten. Zwischen ihnen graste eines der letzten Mastodonten: der *Anancus* mit seinen außergewöhnlich langen Stoßzähnen. Es gab auch Nashörner, Antilopen, Zebras, Pferde und eine riesige, kurzhalsige Giraffe, das *Sivatier (Sivatherium).* Es ähnelte einer riesigen Antilope mit weitverzweigtem Geweih.

Der *Machairodus,* der Säbelzahntiger der Alten Welt, belauerte diese Pflanzenfresser, stets bereit, sie zu jagen und sein fürchterliches Gebiß in ihren Körper hineinzuschlagen. In seinem Gefolge kamen die Hyänen, die Aasgeier und die Marabus. Gruppenweise und umsichtig bewegten sich auf dieser Szene bereits der *Australopithecus* oder andere Hominiden, über die wir im weiteren Verlauf dieses Bandes Näheres erfahren werden.



Der Schädel eines Leptobos etruscus aus dem Villafranchium, gefunden in der Toscana in Italien. Er zeigt sowohl Rinder- als auch Antilopenmerkmale.

Die Säugetierfauna kalter Klimazonen

Während zu Beginn des Pleistozäns die Tierwelt warmer Klimazonen vorherrschend war, wie wir sie soeben beschrieben haben, dominierte in der zweiten Hälfte des Pleistozäns die Säugetierfauna der kälteren Klimazonen.

Im Verlauf der letzten Millionen Jahre gab es in verschiedenen Klimagebieten bemerkenswerte Temperaturschwankungen, deren unmittelbare Auswirkungen die uns bereits bekannten Tierwanderungen von Norden nach Süden und von Süden nach Norden waren. Manche Tiere allerdings haben den Klimaverschlechterungen in erstaunlicher Weise getrotzt, indem sie sich an die veränderten Umweltbedingungen angepaßt haben. Wir haben bereits zwei hervorragende Beispiele einer solchen Anpassung in Gestalt des behaarten Mammuts und des behaarten amerikanischen Mastodons des Quartärs kennengelernt. Im folgenden wollen wir nun die Bekanntschaft von anderen Tieren machen, die sich in ähnlicher Weise verhalten haben.

Eine merkwürdige Laune der Evolution bei den Unpaarhufern zeigte sich am Stamm der Nashörner, die in der Alten Welt ein riesiges Lebewesen hervorbrachten, das wie das Mammut ein Haarkleid hatte, um sich gegen die Kälte zu schützen. Dieses riesige Tier erhielt den Namen *Wollnashorn* oder *Coelodonta antiquitatis.* In seiner äußeren Erscheinung und in seinen Dimensionen hatte es eine große Ähnlichkeit mit dem afrikanischen Breitmaulnashorn von heute; wie dieses hatte es einen ausgeprägten Buckel zwischen den Schultern und hielt den Kopf

Der Riesenhirsch (Megaloceros) lebte während des jüngeren Pleistozäns im gesamten Süden der Alten Welt. Sein Geweih konnte eine Spannweite von 3 m erreichen. – Im Hintergrund rechts sieht man zwei Wollnashörner (Coelodonta antiquitatis).

Rechte Seite: Der in Kleinasien und Südeuropa lebende Damhirsch (Dama dama) hat von allen Hirschen die meiste Ähnlichkeit mit dem ausgestorbenen Riesenhirsch.

gesenkt. Auf der Nase hatte es zwei Hörner, von denen das vordere sehr lang und schmal war. Der prähistorische Mensch jagte sowohl das Wollnashorn als auch das Mammut und zeichnete ihre Gestalt mit großer Detailtreue an die Wände seiner Wohnhöhlen.

Das *Elasmotherium,* ein anderes Nashorn des kalten Klimas im Pleistozän, das in Europa und Sibirien lebte, war größer als das heutige Nashorn und schlanker. Auf der Stirn hatte es einen vorstehenden Knochenwulst, der ein riesiges Horn trug, weswegen man das Elasmotherium als Ausgangspunkt der Legende vom Einhorn ansah. Dies ist jedoch sehr ungewiß, unter anderem deswegen, weil wir nicht wissen, ob der Mensch diesem Tier je begegnet ist.

Unter den Paarhufern war der *Moschusochse,* der in der dritten Eiszeit auf den Spuren des Mammuts und des Wollnashorns aus dem Norden nach Mitteleuropa kam, ein typisches Produkt der kälteren Gebiete. Dasselbe läßt sich für das *Ren* sagen, das sich genauso über Europa verbreitete und sich später derart vermehrte, daß es die Wissenschaftler als Leitfossil für eine bestimmte Periode der Menschheitsgeschichte betrachten.

Riesenhirsch und Höhlenbär

Während sowohl das Ren als auch der Moschusochse heute noch vertreten sind (der Moschusochse allerdings nur in der Neuen Welt), sind die mit einem imposanten Geweih ausgestatteten *Riesenhirsche (Megaloceros, Megaceros)* ausgestorben. Der Megaloceros, von dem es zahlreiche Fossilienfunde aus irischen Torfmooren gibt, ist ein Abkömmling von Tieren, die aus Südasien zugewandert waren. Er verbreitete sich während des späten Pleistozäns über ganz Europa, von Dänemark bis nach Italien und von Irland bis nach Sibirien. Bei den größeren Arten *(Megaloceros giganteus)* hatte das Geweih eine Spannweite von 3 m und mehr, was von keinem heutigen oder prähistorischen Hirsch wieder erreicht wird. Der Megalocerus sah eigentlich eher wie ein Rehkitz aus und muß mit seinen eindrucksvollen Geweihverzweigungen ein sehr hübsches Tier gewesen sein.

Unten: Schädel eines Höhlenbären (Ursus spelaeus), der unweit von Cuneo in Italien gefunden wurde.

Wie Höhlenmalereien zeigen, war der prähistorische Mensch u. a. auch mit dem Megaloceros wohl vertraut. Er kam ja täglich in Berührung mit all den Säugetieren des Pleistozäns und war sozusagen deren Schicksalsgefährte. Er war Zeuge der Wanderungen von Löwen, Flußpferden, Rindern und Pferden, die durch die Warmzeiten nach Norden abgedrängt wurden, und er erlebte andererseits die Flucht der Mammute, Rens, Moschusochsen, Gemsen und Wollnashörner vor dem vordringenden Eis nach Süden. Er jagte die großen Pflanzenfresser und wurde seinerseits von großen Fleischfressern verfolgt. Er fing das Mammut in riesigen Fallen und verfolgte den Riesenbison, der damals Europa bewohnte, durch Wald und Steppe. In seinem Nachlaß finden sich einige eindrucksvolle Wandmalereien des Bisons, von denen diejenigen in den Höhlen von *Altamira* in Spanien besonders berühmt sind.

Zu den Säugetieren des Pleistozäns, mit denen der prähistorische Mensch wahrscheinlich am häufigsten in Berührung kam, gehörte der *Höhlenbär (Ursus spelaeus),* der besonders in der späten Eiszeit gedieh und mit dem sich der Mensch während der langen und fürchterlichen Winter um die Zuflucht in den Höhlen streiten mußte. Der Höhlenbär war ein Riese. Er war so groß wie der amerikanische Grislybär, aber vermutlich noch kräftiger und massiger als dieser. Er hatte eine

gewölbte Stirn und ein kürzeres Gesicht als der heutige Bär. Von den Pyrenäen bis zum Kaspischen Meer war er weit verbreitet. Viele seiner Artgenossen bewohnten die europäischen Gebirgshöhlen, wo ihre fossilen Überreste zunächst als Überbleibsel von Drachen oder Ungeheuern angesehen wurden, als sie in den letzten Jahrhunderten entdeckt wurden. Um eine Vorstellung davon zu vermitteln, wieviele Bären es in diesen Höhlen gab, die in drangvoller Enge nebeneinander lebten, sei daran erinnert, daß in einer als „Drachenhöhle" bekannten Höhle in der Steiermark in Österreich die fossilen Überreste von 30 000 Bären gefunden wurden.

Abbildung auf den beiden folgenden Seiten: Rekonstruktion einer Szene aus der nordamerikanischen Eiszeit: Ein Rudel reißender Wölfe fällt über eine Bisonherde her.

Nordamerikas Säuger im Pleistozän

Dieselben Erscheinungen, die bereits bei der europäischen Tierwelt des Pleistozäns zu beobachten waren, wiederholten sich in Nordamerika. Es kam zu derselben allmählichen Verschiebung von der Fauna des Pliozäns zur Eiszeitfauna, während sich zur Zeit der großen vier

Rechte Seite: Heute hat sich die Tierwelt in Nordamerika im Vergleich zu derjenigen der Vergangenheit vollständig verändert. Neben den Klimaschwankungen hat die Besiedlung weiter Gebiete und das daraus folgende ökologische Ungleichgewicht eine entscheidende Rolle bei der Beeinflussung der natürlichen Zuchtwahl geführt. – Auf dem Foto ein Grislybär, eine Unterart des Braunbären, der heute (wenigstens teilweise) die ökologische Nische des Smilodons ausfüllt.

Oben: Schädel eines Säbelzahntigers (Gattung Smilodon) aus dem nordamerikanischen Pleistozän.

Vergletscherungsphasen dieselben Massenwanderungen mit der Vermischung verschiedener Tierformen ergaben. Für Nordamerika sind jedoch einige Besonderheiten zu beachten, die sich aus der Kombination der drei folgenden (bereits bekannten) Phänomene ergaben: Ein Teil der Fauna war aus dem Tertiär ererbt und damit angestammt, ein zweiter Teil rekrutierte sich aus den über die Beringstraße aus Nordostasien eingewanderten Tierherden, ein dritter schließlich resultierte aus dem faunistischen Austausch mit Südamerika. All das betraf besonders die kleinen und großen Säugetiere.

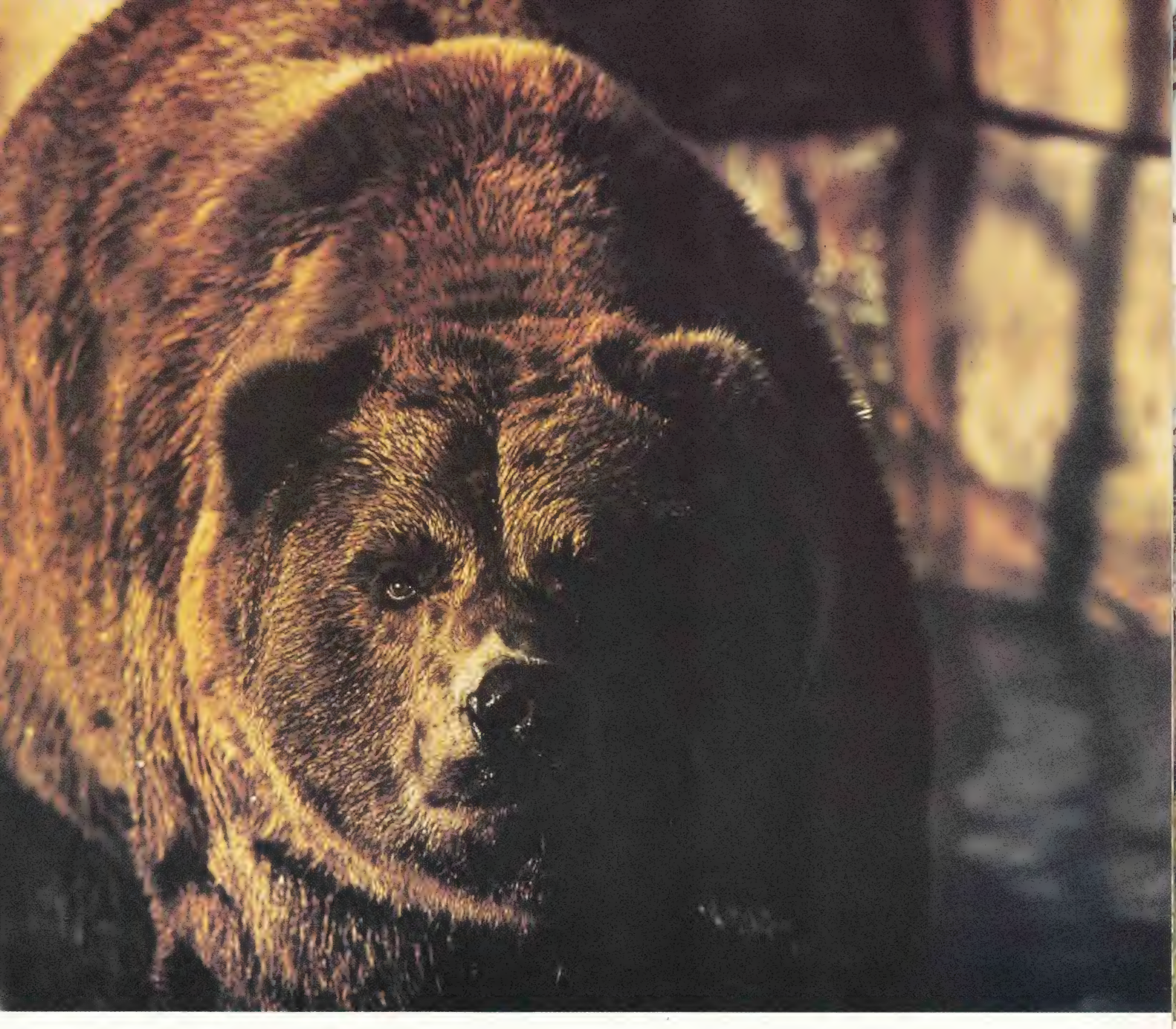
In Nordamerika wird die Übergangsphase zwischen dem Pliozän und dem untersten Pleistozän als *Blancan* bezeichnet; diese Phase entspricht zeitlich genau unserem Villafranchium in Europa. In dieser Phase nun betraten eine große Anzahl Säugetiere den amerikanischen Kontinent über die Landbrücke der Beringstraße. Sie wanderten aus Asien aus, weil in Sibirien das Klima zu kalt und unwirtlich geworden war. Auch heute noch befinden sich die kältesten Regionen des Nordens in Sibirien. Man kann sich also gut vorstellen, wie kalt und unfreundlich es damals mit dem Aufkommen der Eiszeit dort wurde. Viele Säugetiere waren, wenn sie überleben wollten, gezwungen, in dem weniger lebensfeindlichen Territorium des heutigen Nordamerikas Zuflucht zu suchen. Natürlich gab es auch Tierwanderungen in entgegengesetzter Richtung; diese Wanderungen fielen jedoch vergleichsweise nicht ins Gewicht.

Viele Nagetiere und Fleischfresser kamen damals nach Nordamerika. Auch die ersten Hirsche erschienen, die sich bis dahin in Eurasien entwickelt hatten. Es kamen der Moschusochse und der Bison. Die Rinderarten hatten sich bis dahin in Eurasien entwickelt, fanden jedoch offenbar in Nordamerika ideale Lebensbedingungen vor; denn die Büffel entfalteten sich hier dermaßen, daß sie bis in die jüngste Zeit die dominanten Säugetiere dieses Erdteils wurden. In der späteren Eiszeit überquerten auch die Kältesteppenmammuts die Landbrücke der Beringstraße, die im frühen Pleistozän auch anderen Elefanten als Passage gedient hatte. Das Wollnashorn jedoch und das riesige Elasmotherium verblieben in Ostsibirien. Die Kamele, die sich bis dahin in Nordamerika entwickelt hatten, wanderten sowohl nach Eurasien als auch nach Südamerika aus.

Es gab also in den nördlichen Gebieten der Alten und Neuen Welt damals viele Säugetiergemeinschaften, die im allgemeinen gut an die schwankenden Klimaverhältnisse angepaßt waren. Zu diesen Säugetieren gehörten auch die Hundeartigen (Canidae), die großen und kleinen echten Katzen und der kühne Säbelzahntiger.

Um ein vollständiges Panorama der nordamerikanischen Landschaft während des letzten Vordringens der Gletscher entwerfen zu können, fehlen uns jetzt nur noch einige Farbtupfer. Zu erwähnen unter den Säugetieren der damaligen Zeit wären z. B. noch die *Elche, Karibus, Wapitis, Moschusochsen* und – nicht zu vergessen – der Steppenbison *Bison latifrons* mit seinen riesigen, spitzen, gebogenen Hörnern. – Biber von der Größe kleiner Bären *(Castoroides)* tummelten sich emsig an den Flüssen, und überall huschten Nagetiere umher. Große und kleine Raubtiere streiften auf der Suche nach Beute durch die Landschaft, darunter Rudel riesiger Wölfe.

Mastodonten und Kältesteppenmammuts lebten in der Nähe des Eisrandes, während in weniger unwirtlichen Gebieten unbehaarte Mammute ihr Weideland fanden. Schließlich gab es zahllose Pferde, Kamele,



Tapire und Büffel in diesen Gebieten. Um das Bild zu vervollständigen, seien noch räuberische Vögel wie der *Teratornis* genannt, ein Kondor, dessen fossile Überreste aus den Asphaltsümpfen Kaliforniens geborgen und identifiziert werden konnten. Er war ein „Riese" mit einer Flügelspannweite von über 4 m.

Umwälzende Veränderungen in Südamerika

Während dies alles in Nordamerika geschah, war eine umfangreiche zoologische Revolution bei den Säugetieren des Pleistozäns in Südamerika im Gange, eine Revolution, die die angestammte Tierwelt völlig umwandeln sollte. Diese Revolution wurde einzig und allein durch die Entstehung der Landenge von Panama im Pliozän ausgelöst. Viele Säugetiere des Nordens konnten jetzt nach Südamerika vordringen. Nun

wissen wir ja, was passiert, wenn störende Elemente in eine ökologisch ausgeglichene Umwelt eindringen: Die Tiere erleben eine radikale Umgestaltung im Phänotyp. Eine solche Umwandlung spielte sich in Südamerika im Pliozän und im Pleistozän ab.

Nicht nur Mastodonten, sondern auch Hirsche, Pferde, Tapire und Kamele trabten von Norden her heran. In ihrem Gefolge kam eine Armee von unerbittlichen Jägern: Riesenhunde, Pumas und Säbelzahntiger. Ein heftiger Konkurrenzkampf entspann sich zwischen den ortsansässigen Säugetieren und den Neuankömmlingen; dies führte dann im Laufe der Zeit zu einer radikalen Umwandlung.

Zuallererst wurden die Beuteltiere fast vollständig ausgerottet, wobei auch die wenigen noch überlebenden Raubbeutler bald ebenfalls von den besser ausgerüsteten eingewanderten Raubtieren eliminiert wurden, so daß von ihnen allen keine Spur mehr übrigblieb. Auch die alteingesessenen Huftiere (mit wenigen Ausnahmen, wie z. B. Macrauchenia und Toxodon, die auch im Pleistozän noch lebten) mußten den Neuankömmlingen Platz machen, die sich vielfach bis in unsere heutige Zeit hinein halten konnten.

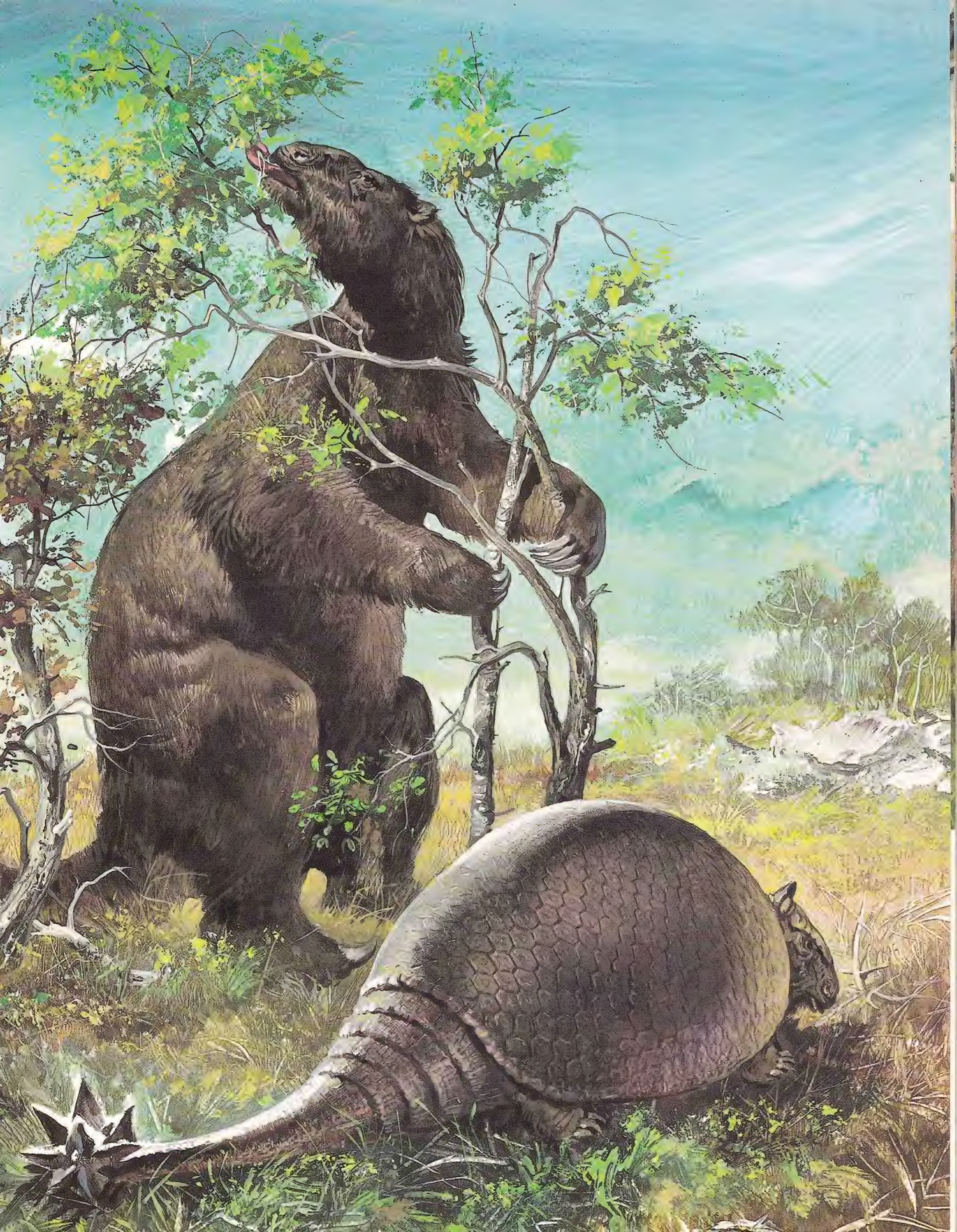
Vor diesem Hintergrund entwickelten sich das *Gürteltier* und das *Faultier* weiter und erreichten ungestört riesige Dimensionen. Die *Riesengürteltiere (Glyptodonten)* hatten einen gewölbten Rücken, der durch einen aus einem Stück bestehenden Panzer geschützt wurde, so daß sie wie Riesenschildkröten aussahen. Auch ihr Kopf war durch einen Knochenschild gedeckt, und um den Schwanz herum besaßen sie eine geringelte „Rüstung" mit stacheligen Spitzen. Das größte dieser außergewöhnlichen Tiere, das *Glyptodon,* konnte bis 4,50 m groß werden. Ihm konnten die Raubtiere, auch wenn sie rudelweise angriffen, sicher nur wenig anhaben.

Eine aus einem Stück bestehende und ungegliederte „Rüstung" hatte bereits das Gürteltier *Propalaeohoplophorus* im oberen Oligozän geschützt, und schon im Pliozän gab es Riesengürteltiere, die sich als außerordentlich lebensfähig erwiesen. Aber das war wenig im Vergleich zu den Abkömmlingen der Glyptodonten, die sich in den argentinischen Pampas so richtig wohl fühlten. Der *Doedicurus* z. B., der dem Glyptodon ähnelte, hatte am Ende seines Schwanzes eine Art zackenbesetzte Keule, die eine gefürchtete Waffe gewesen sein muß.

Zwischen diesen Lebewesen und den Ankylosauriern der Kreidezeit, von denen wir im vorigen Band gelesen haben, bestand eine erstaunliche Konvergenz. Die Ähnlichkeit zwischen ihnen war verblüffend, und auch ihre Lebensweise muß ähnlich gewesen sein; denn sie lebten auf freien Flächen, wo es nicht viel Pflanzenbewuchs gab.

Seltsamer und sogar noch riesiger waren die *Riesenfaultiere (Gravigrada),* die am höchsten entwickelten auf dem Erdboden lebenden Faultiere. Das größte und berühmteste unter ihnen war das *Megatherium,* das mit über 7 m Körperlänge noch größer werden konnte als ein Elefant. Sein aus dem Griechischen stammender wissenschaftlicher Name bedeutet wörtlich „Großtier". Es war lang und massig und hatte ein dichtes Haarkleid. Seine Füße hatten Klauen, von denen nur die Außenkante den Boden berührte, da die Zehen nach innen gekrümmt waren wie diejenigen des heutigen Ameisenbärs. Wenn es sich Bäumen näherte, richtete es sich mit Hilfe seines kurzen, starken Schwanzes auf den Hinterbeinen auf und stellte sich aufrecht, da es in dieser Stellung mit seinen gekrümmten Vorderfüßen die kleineren Zweige packen und die Blätter abweiden konnte, die es mit seiner Greifzunge heranholte.

Seltsame Riesentiere des Pleistozäns in Südamerika; im Vordergrund ein Riesengürteltier (Gattung Boreostracon); im Hintergrund ein Megatherium, ein Riesenfaultier, das größer als ein Elefant war.



Die Riesen wandern nach Nordamerika aus

Kleinere, aber immer noch massige Faultiere streiften zusammen mit dem Megatherium in den Pampas umher, allen voran das *Mylodon,* das nur wenig kleiner als das Megatherium, jedoch schlanker war. In seiner Körpergestalt und in seinen Lebensgewohnheiten hatte es sehr viel Ähnlichkeit mit diesem: Auch das Mylodon stellte sich beim Fressen aufrecht auf die Hinterbeine und benutzte die Vorderbeine als „Hände". Dieses Lebewesen war weit verbreitet und hielt sich auch sehr lange, auch dann noch, als die Menschen sich in Südamerika niederließen. In einer Höhle in Patagonien wurde ein fossiles Exemplar gefunden, das von Menschenhand erlegt worden war.

Die zuletzt beschriebenen Säugetiergruppen, die Riesenfaultiere und die Riesengürteltiere, ruhten sich nicht auf ihren Lorbeeren aus, nachdem sie sich in ganz Südamerika breitgemacht hatten, sondern sie wanderten über die Landenge von Panama nach Norden und verbreiteten sich in einer Wanderungswelle über das gesamte Gebiet der heutigen Vereinigten Staaten. Sie begegneten dabei riesigen Herden, die in entgegengesetzter Richtung, von Norden nach Süden, zogen. Ihnen auf dem Fuß folgten manche kleinere Säuger wie das *Nordamerikanische Baumstachelschwein (Urson, Erethizon dorsatum),* das heute noch in den amerikanischen Wäldern lebt.

Die Riesengürteltiere folgten der Küstenlinie des Golfs von Mexiko und erreichten Florida. Für eine bestimmte Zeitspanne war also der gesamte Bereich von Florida bis Patagonien dicht mit Glyptodonten bevölkert. Die Riesenfaultiere breiteten sich sogar noch weiter nach Norden aus und stellten im Pleistozän den Hauptteil der nordamerikanischen Säugetierfauna. Einer ihrer Repräsentanten, nämlich der rindergroße *Megalonyx,* erlebte seine gesamte evolutionäre Entwicklung im Norden. Fossile Reste eines dem Mylodon ähnlichen Faultiers, des *Paramylodons,* und Reste kleinerer Faultierarten (Gattung *Nothrotherium*) wurden in den bereits erwähnten Asphaltsümpfen von Rancho La Brea gefunden, in denen diese großen und schweren Tiere wegen ihrer unbeholfenen Bewegungen leicht umkamen. – Auch auf den Antillen gab es im Pleistozän ähnliche Lebewesen, doch waren diese kleiner als die anderen, wobei das kleinste nicht größer als eine Katze und selbst das größte nicht größer als ein großer Hund war.

Rekonstruktion des Skeletts (oben) eines Riesenmoas (Dinornis maximus) aus dem Pleistozän in Neuseeland, eines flugunfähigen Riesenvogels, der dort die ökologische Nische ausgefüllt haben muß, die eigentlich den großen Pflanzenfressern zugestanden hätte (Abbildung auf der rechten Seite). Die Maoris, die vielleicht die ersten menschlichen Einwohner dieses Landes waren, kannten den Riesenmoa und haben uns einige Felszeichnungen von ihm überliefert.

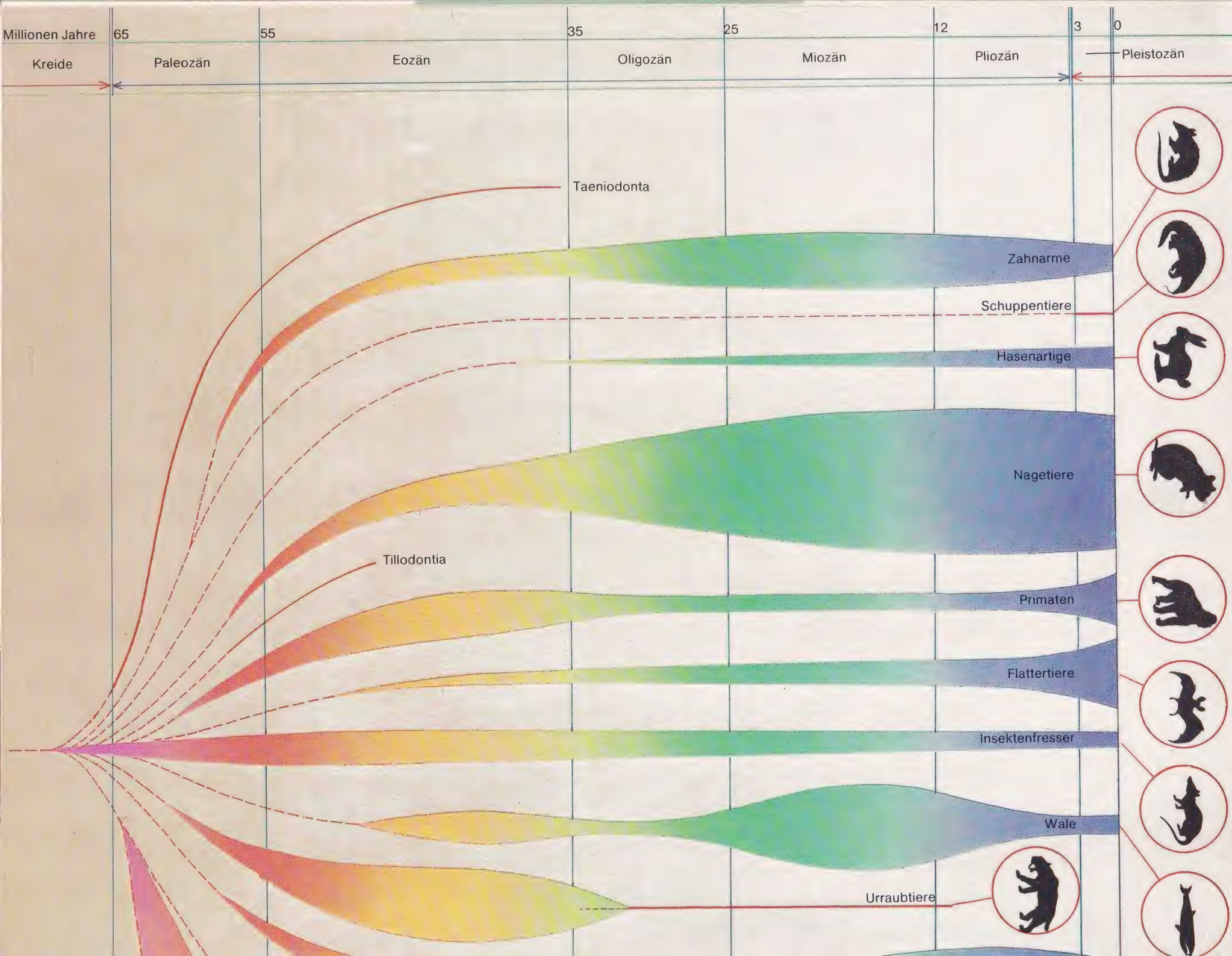
Australische Isolation

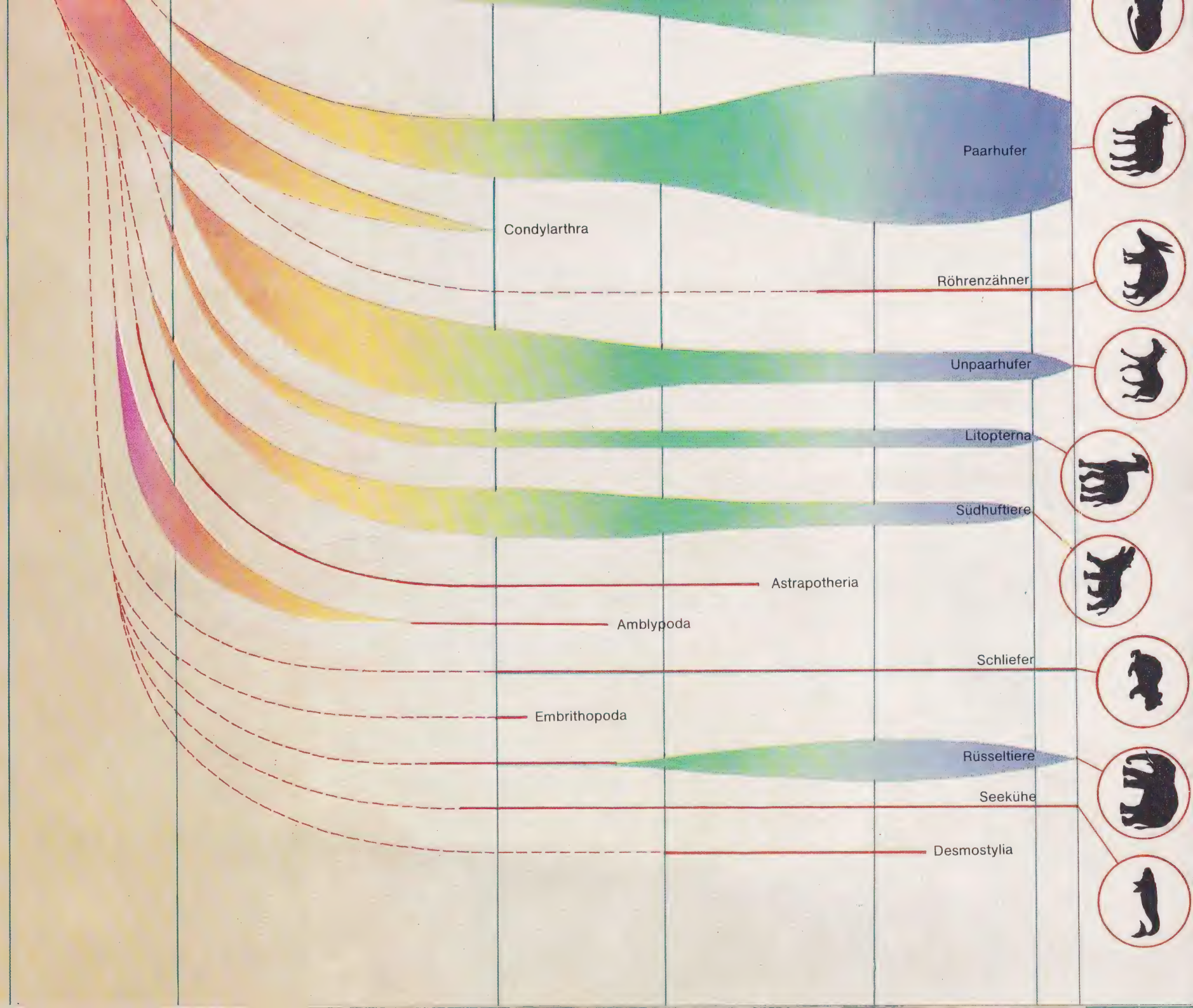
Wir haben bereits über die Folgen der Isolierung Südamerikas gesprochen, wo sich eigentümliche Säugetiere entwickelt hatten. Ein ähnliches Phänomen begegnet uns im *Känozoikum* in Australien (bzw. in der *australischen Region,* die neben Australien noch Tasmanien, Neuguinea, Neuseeland und die pazifischen Inseln östlich Australiens und Neuguineas umfaßt), nur noch viel ausgeprägter; denn diese tiergeographische Region war bereits isoliert, lange bevor Südamerika zur „Insel" wurde, und dieser Inselzustand dauerte fort. Aus diesem Grund entwikkelte sich in *Australien* eine total eigenständige Tierwelt. Es gab keine Plazentatiere, die wie auf dem amerikanischen Kontinent zu Beginn des Tertiärs von Norden nach Süden hätten vordringen können. Australien wurde vielmehr zum unbestrittenen Herrschaftsgebiet der *Beuteltiere (Marsupialia),* zu denen sich dann noch, wenn auch in geringer Anzahl, die *Kloakentiere (Monotremata)* gesellten. Die Beuteltiere breiteten sich während des Tertiärs überall in Australien aus, doch ist mangels ausreichender Fossilien nur sehr wenig über sie bekannt.

Weitaus mehr wissen wir über die australische Säugetierfauna des *Pleistozäns,* die der heutigen Tierbevölkerung Australiens mit unzähligen Beuteltieren und Kloakentieren sehr ähnlich war. Während des Pleistozäns waren die Plazentatiere in Australien durch Nagetiere vertreten, die vermutlich während des späten Tertiärs über die sich von Indien her erstreckende Inselkette aus Asien dorthin gelangt waren. Es gab auch Fledermäuse, die offensichtlich etappenweise dorthin geflogen waren, und den Dingo, der vermutlich vom Menschen bei seinen Wanderungen eingeführt worden war. Die Beuteltiere jedoch – sowohl Pflanzenfresser als auch Fleischfresser – behaupteten ihre Vorherrschaft und besetzten eine große Anzahl ökologischer Nischen.

Es ist ganz interessant festzustellen, wie sich durch das Fehlen riesiger Plazentatiere der Riesenwuchs bei den Beuteltieren entwickelte. Während des Pleistozäns gab es nämlich in Australien ein Beuteltier, das

Abbildung auf den beiden folgenden Seiten: Evolutionsschema der Plazentatiere (in Anlehnung an A. S. Romer). Aus dieser Zeichnung ist zu entnehmen, wie sich die Säugetiere, die sich aus einem gemeinsamen Stamm, der bereits im Mesozoikum existierte, entwickelt haben, um sich dann später, im Känozoikum, in eine große Anzahl von Ordnungen zu differenzieren.


Millionen Jahre
65
55
35
25
12
3
0
Kreide
Paleozän
Eozän
Oligozän
Miozän
Pliozän
Pleistozän
Taeniodonta
Zahnarme
Schuppentiere
Hasenartige
Nagetiere
Tillodontia
Primaten
Flattertiere
Insektenfresser
Wale
Urraubtiere


Paarhufer
Condylarthra
Röhrenzähner
Unpaarhufer
Litopterna
Südhuftiere
Astrapotheria
Amblypoda
Schliefer
Embrithopoda
Rüsseltiere
Seekühe
Desmostylia

so groß war wie ein kräftiges Nashorn und so schwer wie ein Elefant. Es war das *Diprotodon,* das (von der Größe einmal abgesehen) dem heutigen Wombat ähnlich war. Kein anderes Beuteltier hat je das Diprotodon an Körpergröße übertroffen, auch wenn es einige andere gab, die damals recht beachtliche Abmessungen erreichten: der *Sthenurus* z. B., ein kurzköpfiges Känguruh mit einer maximalen Höhe von 2,50 m, und der etwa löwengroße *Thylacoleo,* der ein Pflanzenfresser gewesen sein muß.

Auch hier sei (wie schon zuvor) zum Schluß ein kurzer Ausflug in das Reich der Vögel gestattet, obwohl es da keinen unmittelbaren Bezug zur Entwicklungsgeschichte der Säugetiere gibt. Immerhin ist es doch bemerkenswert, daß es damals z. B. auf Neuseeland riesige, jedoch harmlose, flugunfähige Vögel gab, den räuberischen Vögeln des Tertiärs in Südamerika vergleichbar (allerdings, wie schon gesagt, ohne räuberische Neigungen). Der größte von ihnen, der *Riesenmoa (Dinornis maximus),* war zwischen 3 und 3,60 m hoch und lebte bis in die jüngste Zeit (die letzten überlebenden Exemplare wurden vor etwas mehr als 200 Jahren durch den Menschen getötet).

Das große Sterben

Als das Pleistozän zu Ende ging und das *Holozän* begann, kam es in der Welt der Lebewesen zu einer erheblichen ökologischen Krise, die ganz besonders und unmittelbar die Säugetiere betraf. Große Tiere, die drastische Klimaveränderungen und Umweltschwierigkeiten ohne Schaden überstanden hatten, starben plötzlich in kurzer Zeit aus. Der Säbelzahntiger, das Mastodon, das Mammut, die Riesenfaultiere, Riesengürteltiere und Riesenbeuteltiere, Biber von der Größe eines Bären und Hirsche mit majestätischem Geweih verschwanden alle von der Szene. Mit ihnen zusammen verschwanden auch zahlreiche weniger eindrucksvolle, aber gleichwohl nicht unwichtige Säugetiere. Von der fabelhaften Fauna des Pleistozäns blieb nur ein Teil übrig, so daß das Holozän hinsichtlich seiner Säugetierpopulation relativ artenarm ist. Die tropischen Gebiete Afrikas und Asiens entgingen nur in gewissem Umfang dieser Aussterbewelle.

Diese Erscheinung hat Fragen aufgeworfen, auf die bis jetzt noch keine befriedigende Antwort gefunden wurde. Das erstaunlichste ist, daß diese Krise genau gegen Ende einer größeren Eiszeit herankam, also zu einem Zeitpunkt, da der „endlose Winter" zu Ende ging und der Frühling bereits vor der Schwelle stand. Es kann jedoch sein, daß ein derartiger „Frühling" sich nicht auf alle Teile des Erdballs günstig auswirkte. Zur Zeit des Diprotodon z. B. war das australische Binnenland fruchtbar und sumpfreich. Mit dem Ende der Eiszeit jedoch kam die Dürre und brachte Bedingungen mit sich, die mit der gewohnten Lebensweise der großen Beuteltiere unvereinbar waren. Die Folge war, daß diese ausstarben.

Dieses Beispiel deutet an, daß es einige komplexe ökologische Ursachen gegeben haben muß, die für einen solch umfassenden Niedergang zusammengespielt haben werden. Mit Sicherheit wissen wir nur, daß gewisse empfindliche ökologische Gleichgewichte durch die rasche Klimaveränderung gegen Ende der Eiszeit schwer gestört wurden. Bedenken müssen wir aber auch, daß dies genau die Zeit war, in der sich der Mensch über die gesamte Erde ausgebreitet und die großen Säugetiere ohne Unterschied gejagt hatte. Manche von ihnen tötete er

zum Zwecke der Ernährung, andere zur Selbstverteidigung. Sein Einfluß beim „Umkippen" des Gleichgewichts muß beträchtlich gewesen sein. Womöglich war seine Einwirkung auf die Umwelt sogar so groß, daß er, wie manche Paläontologen meinen, allein für das große Sterben der Säugetiere gegen Ende des Pleistozäns verantwortlich ist.

Wir hätten es hier also erstmals mit einem völlig neuen Aspekt zu tun, der für die Geschichte des Lebens von außerordentlicher Bedeutung ist. Seit dem frühesten Dunkel der Vorzeit waren ökologische Gleichgewichte immer nur durch Naturkäfte verändert worden, gegen Ende des Pleistozäns jedoch fügte der Eingriff des Menschen diesen natürlichen Ursachen ein neues Element mit verheerender Wirkung hinzu.

Der Mensch, dieses Lebewesen, das erst vor kurzer Zeit aus den Reihen einiger weniger Primaten hervorgetreten war, die mit einem gewissen göttlichen Funken begnadet waren, wie der Anthropologe Frank C. Hibben so eindrucksvoll schrieb, schlüpfte in die Rolle eines Herren über die Natur. Zweifellos eine großartige Rolle, die jedoch zugleich eine ungeheure Verantwortung bedeutet.

Die Nashörner wurden wegen der angeblich potenzsteigernden Wirkung ihres Horns erbarmungslos gejagt und dadurch zahlenmäßig stark reduziert. Neben dieser Tatsache gibt es noch einen anderen Grund dafür, daß sie womöglich aussterben werden: die Paarungsschwierigkeiten dieser Tiere und deren Folgen; denn die Weibchen verhalten sich im allgemen gegenüber den Männchen sehr aggressiv, wenn diese sich paaren wollen, und die „frustrierten" Männchen greifen dann häufig die hilflosen jungen Nashörner an.

Der Mensch im System der Tiere

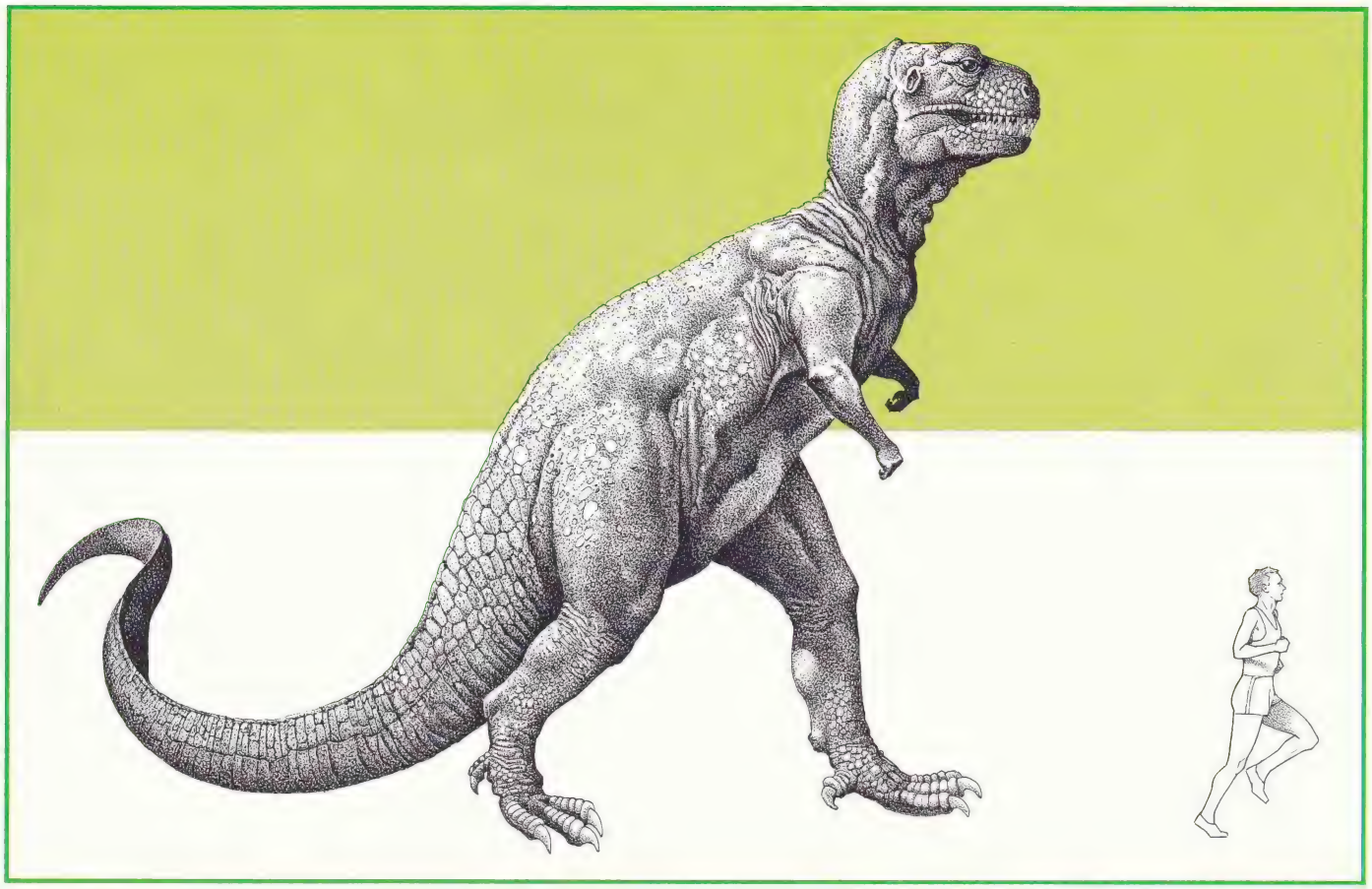
Eine Frage der Perspektive

Wie und wann wurde der Mensch zum Menschen? Die Suche nach der Antwort auf diese Frage bildet den Kern dieses Buches. Die Erforschung des Problems ist immer noch nicht abgeschlossen, da die konkreten Beweise (Schädel, andere Knochen, bearbeitete Steine, die Halbwertszeit radioaktiver Isotope aus den Knochenfunden) immer noch fragmentarisch und nicht überzeugend genug sind. Vieles liegt weiterhin im Dunkeln, weil die entscheidenden Entwicklungen stattgefunden haben, lange bevor es so etwas wie eine Geschichte überhaupt gab.

Tausende von Wissenschaftlern vieler Fachgebiete – Paläontologen, Genetiker, Anthropologen, Zoologen, Archäologen, Biochemiker, Ethnologen, Geologen – sind an dieser Suche beteiligt. Ihre Werkzeuge sind so zahlreich und vielfältig wie ihre Fachgebiete: angefangen vom Spaten, Metermaß und Reagenzglas bis hin zum Geigerzähler, zur Zentrifuge und zum Computer. Das allerbeste Werkzeug ist jedoch das menschliche Gehirn, ohne das der Mensch nicht darüber nachsinnen könnte, wie er entstanden ist, und ohne das ihm nicht einmal bewußt wäre, daß er überhaupt eine Vergangenheit und eine Zukunft hat.

Ironischerweise hat über Jahrhunderte hinweg die einzigartige Fähigkeit des Menschen zum Abstrahieren, sein Denkvermögen, häufig seine Suche nach seiner wahren Natur und seiner Vergangenheit verdunkelt. Es war ein Pionier der Paläontologie, der Franzose Georges Baron de *Cuvier* (1769–1832), der am Anfang des 18. Jahrhunderts behauptete: „L'homme fossile n'existe." („Den fossilen Menschen gibt es nicht.") Dies trotz der Tatsache, daß er zu jener Zeit ganz Paris mit seinen Entdeckungen längst ausgestorbener Tiere in Erstaunen versetzte. Cuvier reflektierte lediglich ein allgemeines, seine Zeit lange überdauerndes Gefühl, daß es eine ganz deutliche Trennung zwischen dem Menschen und jeglichen Tieren gab, sowohl den vergangenen wie den heutigen. Der Mensch, der Denker, stand abseits der natürlichen Welt. Doch wissen wir, daß dies dem Verhalten des primitiven Menschen (Urmenschen) kaum entspricht, der vermutlich eine enge Verwandtschaft mit den Tieren empfand und viele seiner Eigenschaften auf sie projizierte.

Obwohl wir uns mit Recht für eine besondere Tierart halten, neigen wir andererseits dazu, uns selbst als Mittelpunkt aller Lebewesen anzusehen.

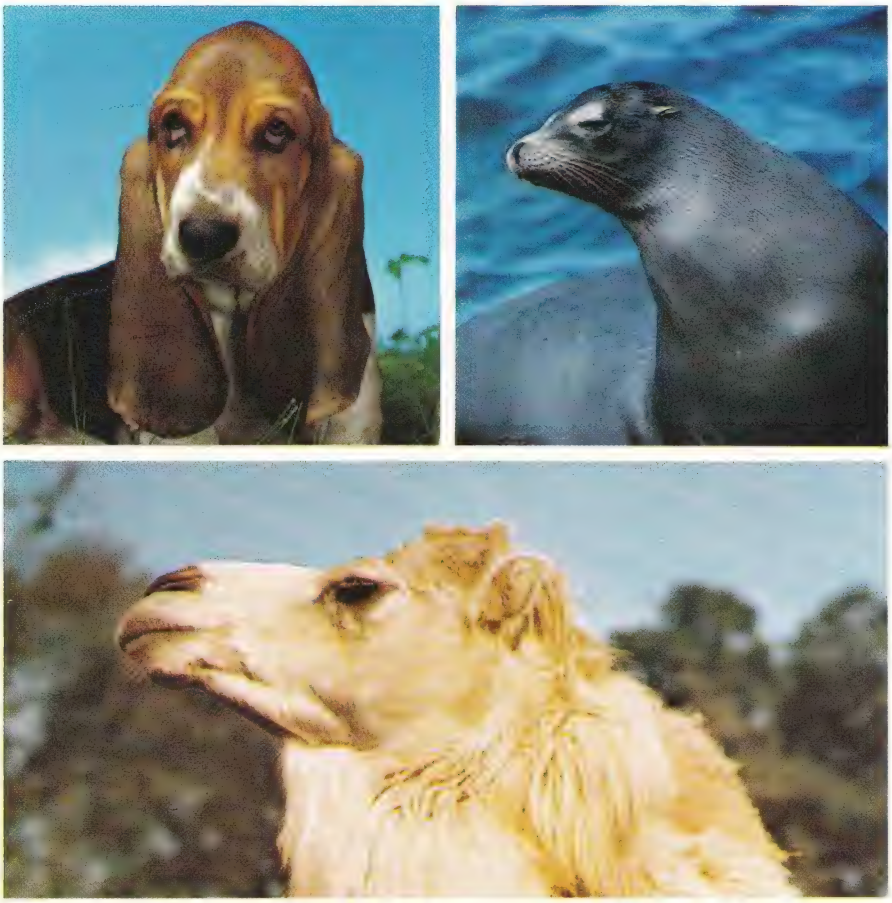


Unsere Neigung, alle Lebewesen nach unserem menschlichen Maßstab zu messen, ist der Grund dafür, daß wir sagen, der Tyrannosaurus, der uns um Jahrmillionen „zuvorkam", habe sich „wie wir" fortbewegt.

Im Jahre 1871 machte dann der britische Naturforscher Charles Robert *Darwin* (1809–1882) „zögernd den ersten Schritt", wie der russisch-amerikanische Biologe Theodosius Dobzhansky (geb. 1900) sagt, „und zeigte, daß der Mensch ein Teil der Natur und mit allem Lebenden verwandt ist". Auch der Mensch hatte einen langen Evolutionsweg hinter sich gebracht, bevor er das Stadium erreichte, in dem sich sein Denkvermögen herausbildete und ihm eine Macht gab, die keine andere Lebensform der Erde jemals erreicht hat.

Darwins Konzept war, wie wir wissen, nicht neu, aber es war niemals zuvor so sorgfältig formuliert, so detailliert illustriert und so logisch entwickelt worden. Darwins Schlußfolgerungen wurden, wie er es selbst vorausgesehen hat, von vielen seiner Zeitgenossen als Beleidigung empfunden. Sie waren nicht bereit, Affen, gleich welcher Art, neben den Menschen zu setzen, nicht einmal in einer zoologischen Klassifikation. Und diese Reaktion wurde dadurch verstärkt, daß Darwins These, Menschen und Affen hätten sich aus gemeinsamen Vorfahren entwikkelt, früh zu der Behauptung vereinfacht wurde, der Mensch stamme vom Affen ab. Dies letztere ist, wie Dobzhansky betont, glatter Unsinn. Wie könnten die Vorfahren des Menschen von Tieren abstammen, die unsere eigenen Zeitgenossen sind?

Dennoch muß hier zur Verteidigung der etwas mehr zurückhaltenden und nachdenklichen Kritiker Darwins gesagt werden, daß die *Paläontologie* – die Wissenschaft, die sich mit dem Leben vergangener



Eine weitere anthropozentrische Angewohnheit des Menschen zeigt sich darin, daß er Tiere gern mit menschlichen Zügen ausstattet. Wir bescheinigen z. B. dem Basset einen „melancholischen", der Robbe einen „friedlichen", dem Kamel einen „hochmütigen" und dem Adler einen „stolzen" Gesichtsausdruck.

geologischer Perioden beschäftigt, und zwar auf der Grundlage fossiler Reste von Tieren und Pflanzen – damals noch eine sehr junge Wissenschaft war. Wer damals ein wissenschaftliches Interesse an den ersten Vorfahren des Menschen hatte, besaß sehr wenige Anhaltspunkte, was menschliche Fossilien betrifft. Die wahre Bedeutung der wenigen Funde, die vor dem 20. Jahrhundert gemacht worden waren, wurde im allgemeinen übersehen.

Wie wir schon erwähnt haben, häufen sich heute die fossilen Dokumente, die die Vorfahren des Menschen hinterlassen haben. Außerdem besitzen wir jetzt mehr und bessere Werkzeuge und Instrumente, mit deren Hilfe wir die fossilen Funde auswerten können. Trotz der vielen Wissenslücken, die immer noch darauf warten, ausgefüllt zu werden, können wir, wenn wir so wollen, den Menschen auf zwei sich ergänzende Weisen sehen: zuerst als ein Mitglied der Tierwelt, ein Teil des ganzen Universums von Materie und Energie, das wir Natur nennen; zweitens aber, wie der britische Biologe und Schriftsteller Sir Julian S. Huxley (1887–1975) meint, „als ein sehr seltsames und in vieler Hinsicht einmaliges Tier". Wir verhalten uns dabei ähnlich wie ein Filmregisseur, der mit kühnen Bildschnitten Nahaufnahmen des Helden mit mittellangen oder längeren Bildsequenzen verbindet, welche seine Rolle im größeren Zusammenhang der Szene verdeutlicht.

Dadurch, daß er seine eigene Vergangenheit ausgräbt, lernt der Mensch, sich selbst erheblich klarer zu sehen, ohne sich gänzlich von

Die größten Primaten sind die Schimpansen, die Gorillas, die Orang-Utans und die Menschen.

der Natur abgesondert zu betrachten. Gleichzeitig kann er die scheinbar lange Periode, in der er als eine eigene Spezies aufgetreten ist und noch auftritt, im Zusammenhang mit der unendlich viel längeren Periode sehen, die die Evolution des Lebens selbst umspannt. Die Erde ist wahrscheinlich rund 4,5 Milliarden Jahre alt. Vor ungefähr drei Milliarden Jahren erschienen die ersten Lebewesen. Vor höchstens zwei Millionen Jahren betrat der Mensch zum ersten Mal die Lebensbühne; und der heutige Mensch, das Wesen, das wir sehen, wenn wir in den Spiegel schauen, ist vielleicht nicht mehr als 40 000 Jahre alt.

Die Stellung des Menschen

Wenn wir uns das Verhalten einiger von Darwins Zeitgenossen vor Augen führen, können wir die Haltung des großen schwedischen Naturforschers Carl von *Linné* (1741–1783) nur bewundern: Linné entwarf ein System zur Klassifizierung von Tieren und Pflanzen, das unsere heutige Klassifikation begründet hat. Obwohl er glaubte, daß jede Art einzeln von Gott geschaffen wurde, und obwohl er gar nichts von Genetik wußte und in einer Zeit lebte, in der evolutionäre Konzepte noch nicht entwickelt worden waren, erkannte Linné den Menschen als eine Tierart und stellte ihn zur Ordnung der *Herrentiere (Primaten)*. Dazu legte er genau die Eigenschaft fest, die mehr als alle anderen den Menschen von den anderen Tieren unterscheidet, indem er die Artbezeichnung *Homo sapiens* („Mensch, der denken kann") prägte.

Wenn wir die Reihe unserer stammesgeschichtlichen Vorfahren zurückverfolgen, werden wir feststellen, daß die Entwicklung des menschlichen Gehirns bedeutsame Folgen gehabt hat. Sie ist weit über das hinausgegangen, was selbst unsere nächsten Verwandten im Tierreich erreicht haben. Darwin hat gezeigt, daß die Evolution des Lebens und die Evolution des Menschen untrennbare Teile eines einzigen Prozesses sind. Dies war bereits eine revolutionäre Einsicht. Noch bedeutender ist eine zweite Erkenntnis, die dieser zugrunde liegt: Der Mensch ist nicht unbedingt der Endpunkt der Evolution oder der Mittelpunkt des Kosmos. Er ist aber die einzige Spezies auf der Erde, die sich der Evolution bewußt ist, und dieses Bewußtsein verleiht ihm die Macht, die Evolution positiv oder negativ zu beeinflussen.

Um jedoch ein allzu selbstbezogenes und übertriebenes Bild vom Menschen zu vermeiden, ist es sinnvoll, diejenige Stelle im System, die

der Mensch heute einnimmt, genau zu bezeichnen, bevor wir in die Vergangenheit zurückgehen und, soweit möglich, rekonstruieren, wie er überhaupt in diese Position gelangt ist. Die Klassifikation ist ein umfassendes Gebiet mit vielen Problemen, und beim Gruppieren ähnlicher Formen – lebender oder fossiler – sind manche Übereinstimmungen bedeutend, andere dagegen unbedeutend.

Die passende Schachtel

„Sieh mal", sagt der kleine Junge im Museum, während er die Rekonstruktion des Tyrannosaurus betrachtet, der auf seinen Hinterbeinen balanciert, „er geht wie ein Mensch". Tatsächlich wäre der Junge überrascht zu hören, daß der Mensch mehr mit dem Wal in der nächsten Halle gemeinsam hat als mit diesem ausgestorbenen Reptil. Die Klassifikation ist so angelegt, daß sie die entscheidenden Ähnlichkeiten und Übereinstimmungen sichtbar macht. Sie erinnert an die ineinanderpassenden Bauklötzchen oder „russischen Puppen" unserer Kinderzeit, von denen jede zunehmend kleiner bzw. größer als die folgende ist. Diese Schachteln stellen die Kategorien dar, in die wir den Menschen oder irgendein anderes Tier einordnen können. Eine vereinfachte Serie würde etwa so aussehen:

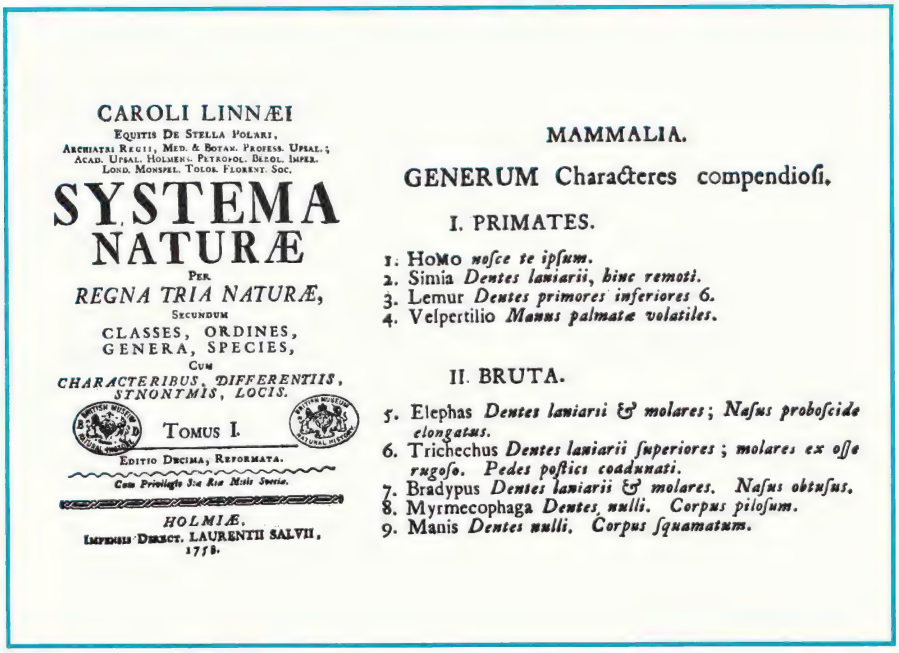
Reich: Animalia (alle tierischen Lebewesen von den Einzellern bis zum Menschen).

Unterreich: Metazoa (alle mehrzelligen Organismen; Einzeller sind also ausgeschlossen).

Stamm: Chordata (alle Tiere mit einem auf der Rückenseite entwickelten Skelettelement, dem „Achsenstab" (Chorda dorsalis); die mit den Chordata zu den Deuterostomiern gestellten Seesterne sind demnach ausgeschlossen).

Unterstamm: Vertebrata oder Wirbeltiere (Zulassungsbedingung: der Achsenstab ist durch eine Wirbelsäule ersetzt; also Lanzettfischchen z. B. ausgeschlossen).

Oben: Der Menschenaffe weint und beschwert sich beim Tierschutzverein, daß er nach Darwin mit dem Menschen verwandt sein soll. Darwin wird hier mit einem Exemplar seines Buches „Der Ursprung der Arten" unterm Arm dargestellt.



CAROLI LINNÆI
EQUITIS DE STELLA POLARI,
ARCHIATRI REGII, MED. & BOTAN. PROFESS. UPSAL.;
ACAD. UPSAL. HOLMEN. PETROPOL. BEROL. IMPER.
LOND. MONSPEL. TOLOS. FLORENT. SOC.

SYSTEMA NATURÆ
PER
REGNA TRIA NATURÆ,
SECUNDUM
CLASSES, ORDINES,
GENERA, SPECIES,
CUM
CHARACTERIBUS, DIFFERENTIIS,
SYNONYMIS, LOCIS.

TOMUS I.

EDITIO DECIMA, REFORMATA.

Cum Privilegio Sæ Reæ Mtis Sueciæ.

HOLMIÆ,
IMPENSIS DIRECT. LAURENTII SALVII,
1758.

MAMMALIA.

GENERUM Characteres compendiosi.

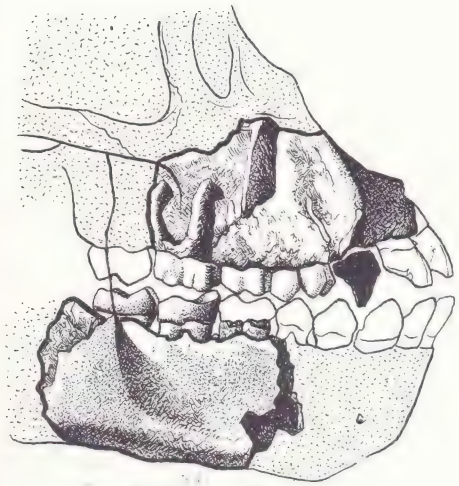
I. PRIMATES.

1. Homo *nosce te ipsum.*
2. Simia *Dentes laniarii, hinc remoti.*
3. Lemur *Dentes primores inferiores 6.*
4. Vespertilio *Manus palmatæ volatiles.*

II. BRUTA.

5. Elephas *Dentes laniarii & molares; Nasus proboscide elongatus.*
6. Trichechus *Dentes laniarii superiores; molares ex osse rugoso. Pedes postici coadunati.*
7. Bradypus *Dentes laniarii & molares. Nasus obtusus.*
8. Myrmecophaga *Dentes nulli. Corpus pilosum.*
9. Manis *Dentes nulli. Corpus squamatum.*

Links: Titelseite von „Systema naturae", dem Klassifikationssystem von Linné, und die Seite, auf der der Mensch unter den anderen Primaten verzeichnet ist.



Klasse: Mammalia oder Säugetiere (muß folgenden Kriterien entsprechen: Milchdrüsen, warmes Blut, Haarkleid; Fische, Amphibien, Reptilien, Vögel bestehen diese Prüfung nicht).

Unterklasse: Eutheria (alle Säugetiere mit Plazenta, d. h. einem ernährenden Verbindungsorgan zwischen dem mütterlichen Körper und dem Embryo; Beuteltiere wie das Känguruh gehören also nicht in diese Kategorie).

Ordnung: Primates oder Herrentiere (Tiere mit zum Greifen geeigneten Händen mit fünf Fingern, ein hochentwickeltes Gehirn, Nägel an Fingern und Zehen, zwei Milchdrüsen; also Halbaffen, Affen, Menschenaffen und der Mensch).

Unterordnung: Anthropoidea (Affen, Menschenaffen, Mensch).

Überfamilie: Hominoidea (Menschenaffen und Mensch).

Familie: Hominidae (schließt sowohl die frühesten menschenähnlichen Formen wie die höherentwickelten Menschenarten ein; Affen und affenähnliche Arten sind ausgeschlossen).

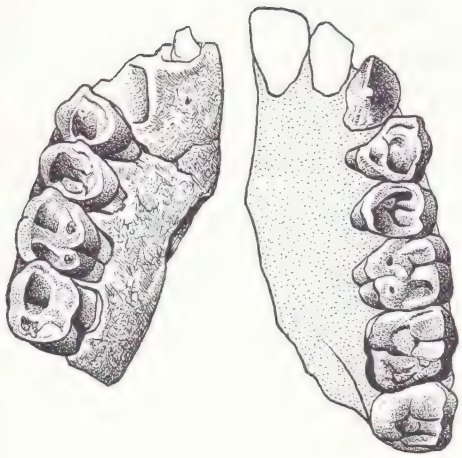
Gattung: Homo (der echte Mensch, wann immer und wo immer er erscheint).

Art: Homo sapiens (Neandertaler und der moderne Mensch).

Dieser Band befaßt sich hauptsächlich mit dem Menschen als Primaten, und wie er dazu kam, die letzte Nische oder „Schachtel" des Systems allein zu besetzen. Wir dürfen allerdings bei der Darstellung die vielen anderen „Schachteln" oder Kategorien nicht außer acht lassen. Ohne den ganzen Satz von „Schachteln" sind wir nicht imstande, die Evolutionsabläufe räumlich und zeitlich richtig einzuschätzen.

Kleine Exkursion über den Artbegriff

Da wir in den folgenden Kapiteln immer mit dem Begriff *Art* operieren, ist es vielleicht nützlich, diesen Begriff am Ende der Einleitung zu dem Drama vom mühsamen Aufstieg des Menschen etwas genauer zu bestimmen. Er stellt die Schlüsseleinheit in der biologischen Klassifikation dar. Die Bedeutung, die ihm von Wissenschaftlern beigemessen wird, sollte also in diesem Zusammenhang vollkommen klar sein. Die Art ist nach allgemeiner Meinung der Fachwissenschaftler eine grundlegende biologische Kategorie. Dennoch sollten wir wohl zugeben, daß es unter Biologen keine Übereinstimmung darüber gibt, was genau eine Art begründet.



Eine deutliche Zäsur in dieser Auseinandersetzung stellt der Zeitpunkt dar, als Darwin seine *Evolutionstheorie* veröffentlichte. Bis dahin verstand man unter „Art" im biologischen Sinne Lebewesen, die in ihrer Besonderheit aus einem einmaligen Schöpfungsakt hervorgegangen seien. Dieses starre Konzept war nicht länger aufrechtzuerhalten, als sich die Erkenntnis durchsetzte, daß Arten Veränderungen durchmachen können, d. h., daß sie nicht für alle Zeiten an eine bestimmte Form gebunden sind. Tatsächlich gehört es zum innersten Kern der Evolutionstheorie, daß existierende Arten Entwicklungen durchlaufen haben und immer noch durchlaufen.

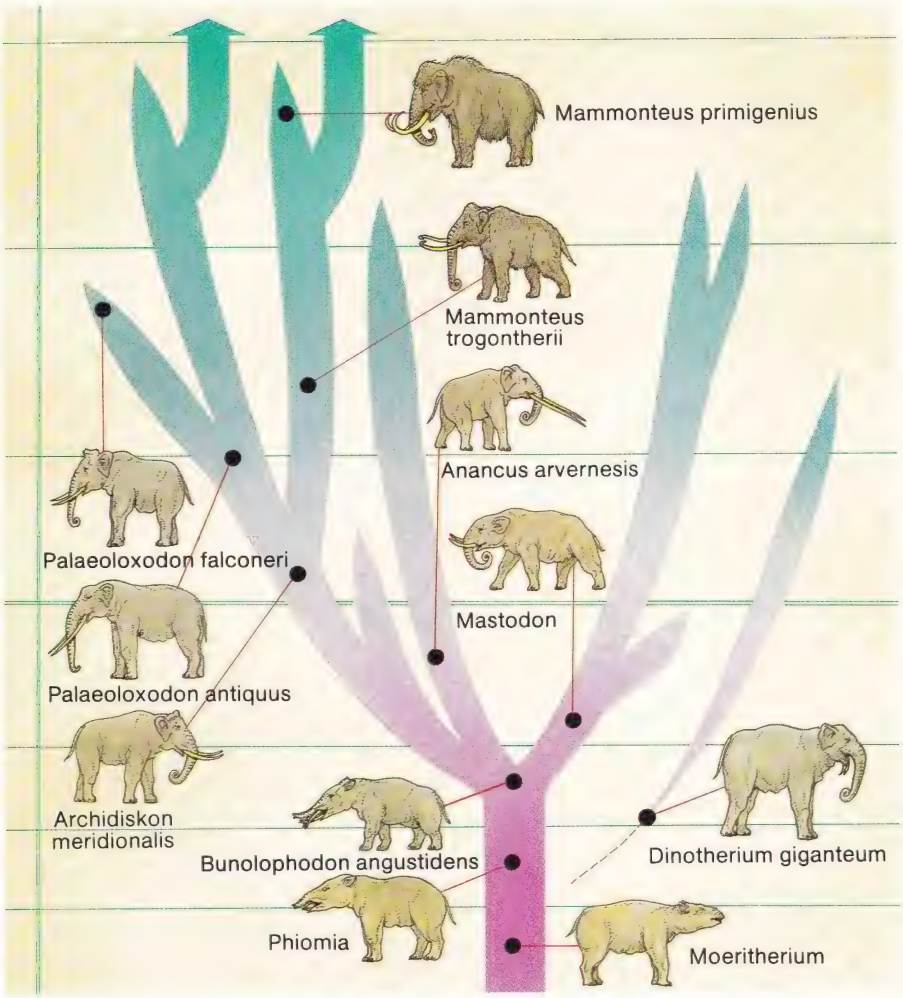
In der Folge haben sich viele verschiedene Theorien darüber gebildet, welche Kriterien notwendig sind zur Definition der „Art". Die meisten der vorgeschlagenen Kriterien wurden oder werden noch in Zweifel gezogen. Vereinfachend kann man sagen, daß im allgemeinen eine Pflanzen- oder Tierart eine Gruppe von Individuen mit bestimmten Merkmalen darstellt, die sie von den Mitgliedern ähnlicher Gruppen

insgesamt unterscheiden. Die Mitglieder einer Art können sich ferner untereinander fortpflanzen, während sie mit Mitgliedern anderer Arten normalerweise nicht fortpflanzungsfähig sind.

Unterart ist derjenige Begriff, der meist auf diejenigen Gruppen angewandt wird, die durch kleinere Unterschiede gekennzeichnet sind. In den wissenschaftlichen Bezeichnungen für Pflanzen und Tiere nennt der dritte Name (soweit vorhanden) die Unterart. So bezeichnet Homo sapiens sapiens unsere Art und unsere Unterart.

Dies alles hört sich vielleicht spitzfindig an. Wenn wir jedoch die fast unendliche Zahl von Lebensformen, die es gibt, bedenken, wird uns klar, daß eine solch pointierte Klassifikation unvermeidlich ist. Soll die

In der Geschichte der Primatenevolution wird der Gattung Ramapithecus eine wichtige Stelle eingeräumt. Ihre Vertreter stellen die ersten entscheidend hominidorientierten Äste am Evolutionsbaum der Primaten dar. Auf dieser Seite sehen wir eine Rekonstruktion von Ramapithecus, auf der linken Seite die ersten fossilen Knochenfunde der Gruppe.



Die Rüsseltiere, die heute durch den Indischen und den Afrikanischen Elefanten vertreten sind, geben uns ein typisches Beispiel einer phylogenetischen Linie, in der die aufeinanderfolgenden Evolutionsphasen in einem regelmäßigen Rhythmus stattfinden. Die Evolution der Hominiden in der Stammesgeschichte der Primaten schritt erheblich zügiger voran.

wissenschaftliche Forschung geordnet voranschreiten, müssen die Wissenschaftler imstande sein, sich auf eine Pflanze, ein Tier oder den Menschen auf dieser oder jener Entwicklungsstufe mit einem kategorialen Begriff zu beziehen, den jeder wissenschaftliche Kollege in einem anderen Teil der Welt versteht. Die Notwendigkeit dieser einheitlichen Nomenklatur ergibt sich aus der Tatsache, daß Wissenschaftler, die im gleichen Fachbereich arbeiten, ihre Forschungsergebnisse gewöhnlich untereinander austauschen, wodurch unnötige doppelte Forschungsbemühungen vermieden werden können.

In gewisser Weise ist dieses Klassifikationssystem die Umkehrung des Schemas, nach welchem Kinder gern Briefe adressieren:

Herrn Gerhard Krauß,
Dudenstr. 6,
Mannheim 1,
Bundesrepublik Deutschland,
Europa,
westliche Halbkugel,
Planet Erde,
Universum.

Eine Arbeitshypothese

Der Mensch wird durch seine Tätigkeit definiert

Die Paläontologen vermochten schon viele Rätsel zu lösen, die ältere Lebensformen betreffen. Es ist ihnen z. B. gelungen, Tiere zu rekonstruieren, die sich stark von denen unterscheiden, die wir heute kennen. Sie konnten sogar deren Gewohnheiten beschreiben. So wissen wir heute, wie die Trilobiten aussahen, als sie sich noch auf dem Meeresgrund bewegten; wir wissen, wie die Ammoniten einst auf der Wasseroberfläche trieben; wie sich die Ichthyosaurier fortpflanzten und welche Pflanzenarten das Iguanodon fraß. Dennoch, obwohl es kaum glaubhaft erscheint, waren die Wissenschaftler nicht imstande, mit ähnlicher Präzision jene Eigenschaften zu beschreiben, die schließlich den Menschen von anderen Lebensformen, die ihm auf seinem Evolutionszweig am nächsten stehen, unterscheiden. Der Grund ist klar: Es kommt darauf an, Eigenschaften (z. B. Denkfähigkeit) in Fossilienreste hineinzudeuten, die unter keinen anderen Umständen die entsprechenden materiellen Spuren bei ihnen hätten hinterlassen können.

Das Hauptinstrument der Forschung wurde schließlich eine grundlegende Folgerung: Ein Wesen, das denken konnte, mußte auch imstande gewesen sein, Gegenstände selbst herzustellen. Um ganz korrekt zu sein, müssen wir allerdings zugeben, daß diese Gleichung auf keinerlei Weise schlüssig bewiesen werden kann. Objektiverweise ist also hinzuzufügen, daß sie nichts als eine Arbeitshypothese darstellt, die im besten Falle nützlich und praktikabel ist.

Auf Grund dieser Arbeitshypothese können wir daher sagen, daß es im Laufe der menschlichen Entwicklung eine lange Anfangsphase gegeben hat, gefolgt von einer zweiten Phase, die durch das Vorhandensein von hergestellten Gegenständen neben menschlichen Fossilien nachgewiesen werden kann. Wollten wir allerdings Haare spalten, könnten wir einwenden, daß ein abgeschlagener Stein in der Nähe eines Schädels oder anderer Skelettreste keinen schlüssigen Beweis dafür darstellt, daß der einstige „Besitzer" dieser Knochen den Stein wirklich bearbeitet hat. Der Stein und die fossilen Knochen könnten z. B. auch durch das fließende Wasser eines Stroms an die Fundstelle gebracht worden sein. Diese Möglichkeit besteht bei vielen Fossilienablagerun-

gen. Wenn sich jedoch eine Vielzahl von bearbeiteten Steinen an derselben Stelle befindet, an der auch Knochen freigelegt wurden, ist es nur logisch, eine Verbindung zwischen beiden Fakten herzustellen.

Ein weiteres Problem ergibt sich bei dem Versuch, den Menschen als Werkzeugmacher und Werkzeugbenutzer zu definieren, da wissenschaftliche Beobachtungen zeigen, daß andere Tiere gelegentlich ebenfalls von *Werkzeugen* Gebrauch machen. Auf den Galapagosinseln an der Küste Ecuadors gibt es eine Finkenart, deren Vertreter einen Kaktusdorn als eine Art Schnabelverlängerung benutzen, um die Maden, von denen sie sich ernähren, in der Baumrinde aufzuspüren. Bestimmte Geier schlagen die Eier anderer Vögel mit einem Kieselstein auf, den sie dabei fest im Schnabel halten. Der Seeotter kommt an Krustentiere heran, indem er sie gegen einen kleinen Stein schlägt, den er auf dem Bauch balanciert, während er auf dem Rücken treibt. Manche Schimpansen suchen sich Zweige und kleine Äste, um damit in Termitenbauten herumzustochern.

Wenn wir die Gleichsetzung zwischen der Fähigkeit zu denken und dem Vorhandensein von Werkzeugen akzeptieren, müssen wir uns über die Art von Werkzeugen klar sein, die wir mit relativer Sicherheit dem Menschen zuordnen können. Im allgemeinen stimmt man überein, daß dieses Etikett nur auf solche Werkzeuge zutrifft, die zum Hauen oder Schneiden benutzt werden. Tatsächlich ist ein Stein, der in der Eile des Augenblicks ergriffen und zur Verteidigung geworfen wird, lediglich ein Hilfsmittel. Wenn er dagegen benutzt wird, um einen Knochen oder eine Kokosnuß aufzubrechen, wird er zum Werkzeug. Beides läßt sich als eine früheste Form des Denkens deuten. Der Stein jedoch hinterläßt keine Spur von demjenigen, der ihn hochgehoben hat.

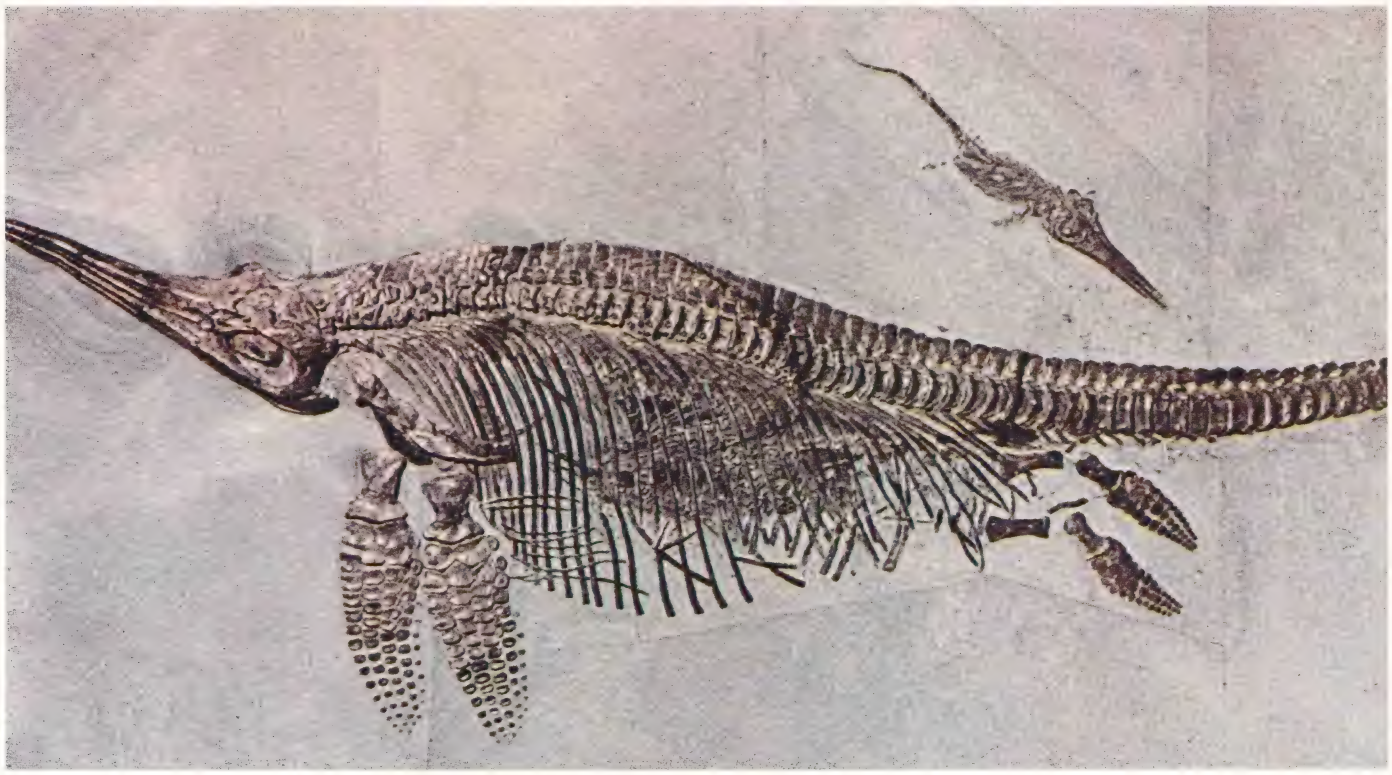
Stratigraphische Untersuchungen sind unentbehrlich beim Datieren von Funden. Bei sorgfältiger Auswertung des gesamten Fundkomplexes können Fragmente, die sich isoliert als problematisch erweisen, in der Evolutionsgeschichte richtig eingeordnet werden.

Nach dieser Arbeitshypothese erhält die Forschung eine ganz bestimmte Richtung: Sie beschäftigt sich nun mit den Gegenständen, die man als *Schneidewerkzeuge* klassifizieren kann. Diese beweisen nämlich einen koordinierten Versuch, etwas für einen bestimmten Zweck herzustellen. Ein Anthropologe hat unsere Gleichsetzung genauer formuliert: Der echte Mensch ist fähig, Werkzeuge herzustellen, deren Form er zuvor festgelegt hat, um sie beim Nahrungsammeln oder zur Verteidigung einzusetzen.

Es bleibt noch ein weiterer Einwand zu bedenken, obwohl es auf ihn eine überzeugende Antwort gibt. Wie können wir sicher sein, daß ein bestimmter Stein von Menschenhand behauen und nicht durch einen natürlichen Vorgang entsprechend verändert oder abgeschabt wurde? Steine, die durch die unaufhörliche Brandung zerbrochen und entlang den Stränden abgelagert oder durch einen Steinschlag abgeschlagen wurden, sehen manchmal so aus, als wären sie an beiden Enden oder auf gegenüberliegenden Seiten abgesplittert. Schließlich bestanden die ersten *Steinwerkzeuge (Hauwerkzeuge, Chopper)* aus minimal bearbeiteten Steinen, so daß sie als solche selbst für das geschulte Auge schwer von Naturformen zu unterscheiden sind. In manchen Fällen muß der Forscher eine statistische Lösung in Betracht ziehen: Wenn in einer Steinmenge Hauwerkzeuge vorherrschen, ist es so gut wie sicher, daß hier der Mensch buchstäblich seine Hand im Spiel hatte.

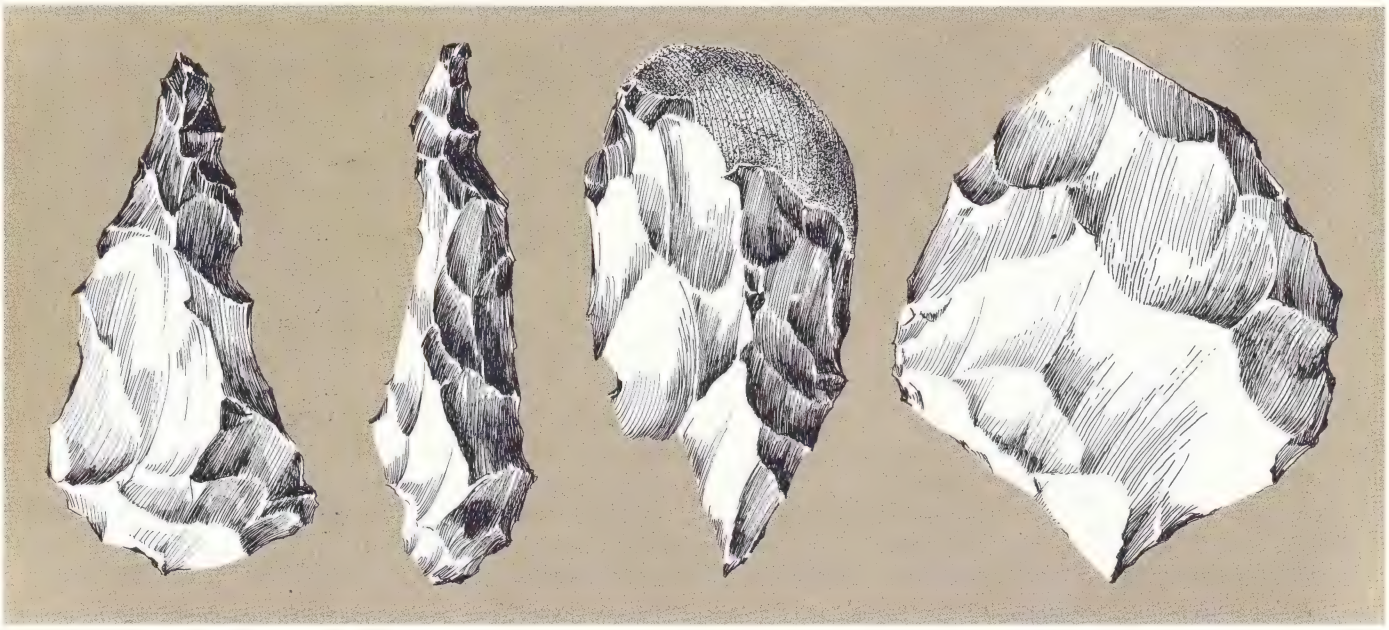
Die Anthropologen, die gelernt haben, ein funktionelles Steinwerkzeug von einfachster Bauart herzustellen, wissen, daß die Natur einen abgeschlagenen Stein, der genauso aussieht, als wäre er von Menschen hergestellt, nur selten produziert. Um ein Hau- oder Schneidewerkzeug herzustellen, nahm der Mensch zuerst einen größeren Stein und brachte

Die Zusammensetzung eines Skeletts zeigt uns mehr als lediglich anatomische Fakten. Dieses Fossil z. B. verrät uns, daß die Ichthyosaurier ihre Jungen lebend zur Welt brachten.



Rechts: Der Gebrauch von Werkzeugen ist nicht allein für den Menschen kennzeichnend. Dieser Galapagosfink z. B. benutzt einen Dorn, um unter der Rinde eines Astes nach Insekten zu stochern.

Unten: Typische doppelseitige Feuersteinwerkzeuge aus dem Abbevillien.

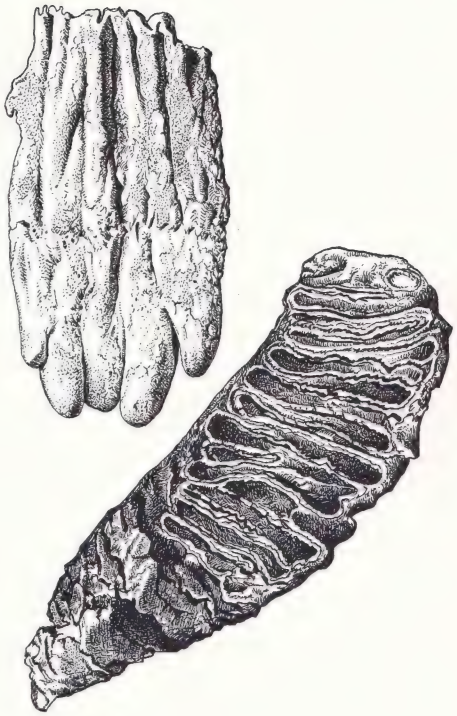


ihn zum Splittern, indem er ihn gegen einen anderen Stein schlug (Perkussion) oder indem er einen gleichmäßigen Druck auf ihn ausübte. Die zweite Methode wurde hauptsächlich angewandt, um die Ränder eines abgesplitterten Steins noch schärfer zu machen. In beiden Fällen wird die Fähigkeit zweckgerichteten Vorgehens erkennbar.

Die Geschichte von den Entdeckungen der ersten Werkzeuge ist faszinierend und viel älter als das Studium der Abstammung des Menschen. Schon im Mittelalter und später, während der Renaissance, gab es Berichte über seltsame Gegenstände, die bei Ausgrabungen in Steinbrüchen entdeckt wurden. Manche dieser Gegenstände sind in Büchern aus dieser Zeit abgebildet. Heute erkennen wir sie als Werkzeuge, die von unseren entfernten Vorfahren hergestellt wurden. Doch während der Renaissance und auch später noch behaupteten viele Gelehrte, solche Gegenstände seien vom Himmel gefallene *Donnerkeile (Ceraunia).* Sie seien im Augenblick des Auftreffens auf die Erde irgendwie zu einer spitzen Form mit scharfen Rändern komprimiert worden. Heute findet man solche Ceraunia in uralten Katalogen von „Kuriositäten". In manchen Berichten sind sie auch als versteinerte Hexenzungen oder andere Teile von Fabelwesen aufgeführt.

Im 16. Jahrhundert bot Michele Mercati, Leibarzt von Papst Clemens VIII. und Direktor des Botanischen Gartens im Vatikan, eine wissenschaftliche Erklärung an. Er argumentierte, daß die Donnerkeile auf Grund ihrer Form Steinwerkzeuge seien. Zu ihrer Herstellung seien zwei Steine aufeinandergeschlagen worden, wodurch Teile ihrer Oberfläche abgesplittert seien. Da diese Erklärung den damaligen Obrigkeiten gefiel, wurde sie bis zum Ende des 18. Jahrhunderts allenthalben akzeptiert. Die Objekte wurden jedoch den „Urmenschen" zugeschrieben, weil man glaubte, daß sie bestenfalls aus der Zeit vor der biblischen Flut stammen könnten.

Obwohl damit eine korrekte Deutung der abgeschlagenen Steine gegeben worden war, ahnte niemand, daß diese Steine vielleicht einer Vergangenheit entstammten, die so weit zurücklag, daß der Mensch, wie wir ihn heute kennen, sie niemals erlebt haben konnte.



Die sog. „versteinerte Affenhand" (oben) ist in Wirklichkeit ein Teil eines Mammutbackenzahns (unten).

Etwas zum Nachdenken

Wenn wir erst einmal die Trennungslinie zwischen den ersten Menschen und ihren nächsten Verwandten unter den Primaten gezogen haben, so daß wir entsprechende Fossilienfunde eindeutig der einen oder anderen Kategorie zuordnen können, erhebt sich die Frage, ob eine solch genaue Unterscheidung überhaupt wichtig ist. Dies gilt besonders, wenn wir den Aufstieg des Menschen als ein Kapitel unter anderen in der langen Geschichte der Wechselbeziehungen zwischen Lebensformen allgemein und ihrer Umgebung betrachten.

Von vielen Wissenschaftlern und Publizisten wird immer wieder darauf hingewiesen, welche entscheidende Bedeutung heute ökologischen Studien zukommt. Sie tragen sehr wesentlich dazu bei, daß wir den Kampf gegen die fortschreitende Verschmutzung und Zerstörung unserer Umwelt aufnehmen. Die Entwicklung eines ökologischen Bewußtseins schließt mehr als die freiwillige Ausübung guter Taten (wie einige es definieren würden) ein. Tatsächlich ist das einfach die beste Chance, unsere Haut zu retten. Darum gewinnen die Möglichkeiten, etwas für unsere Umgebung zu tun, zunehmend Bedeutung. Und unsere Entscheidungen müssen in diesem Bereich nach allen Richtungen bedacht werden. Sie sollten die Bedeutung sämtlicher menschlicher

Aktivitäten in dem engen Netz von Wechselbeziehungen, dem wir als kleiner Teil angehören, in Betracht ziehen. Sie müssen sich auf unser gesamtes irdisches Ökosystem richten.

Die Entwicklung des Lebens umspannt viele Millionen Jahre. Innerhalb dieser Zeitspanne erscheint die Gattung Homo erst relativ spät. Und erst mit dem Erscheinen des Homo sapiens tritt eine Art auf den Plan, die einen derart tiefgreifenden Einfluß auf ihre Umwelt ausübt. So schreibt der amerikanische Schriftsteller William *Howells* (1837–1920): „Nach allem Vorangegangenen betrat der Mensch die Bühne nahezu abrupt." Obwohl die Entstehung des Menschen rund 25 Millionen Jahre dauerte, erschienen die ersten Vertreter der Gattung Homo erst vor weniger als zwei Millionen Jahren. Die Art *Homo sapiens* erschien vor 500 000 bis 250 000 Jahren; ihre moderne Version reicht erst rund 40 000 Jahre zurück.

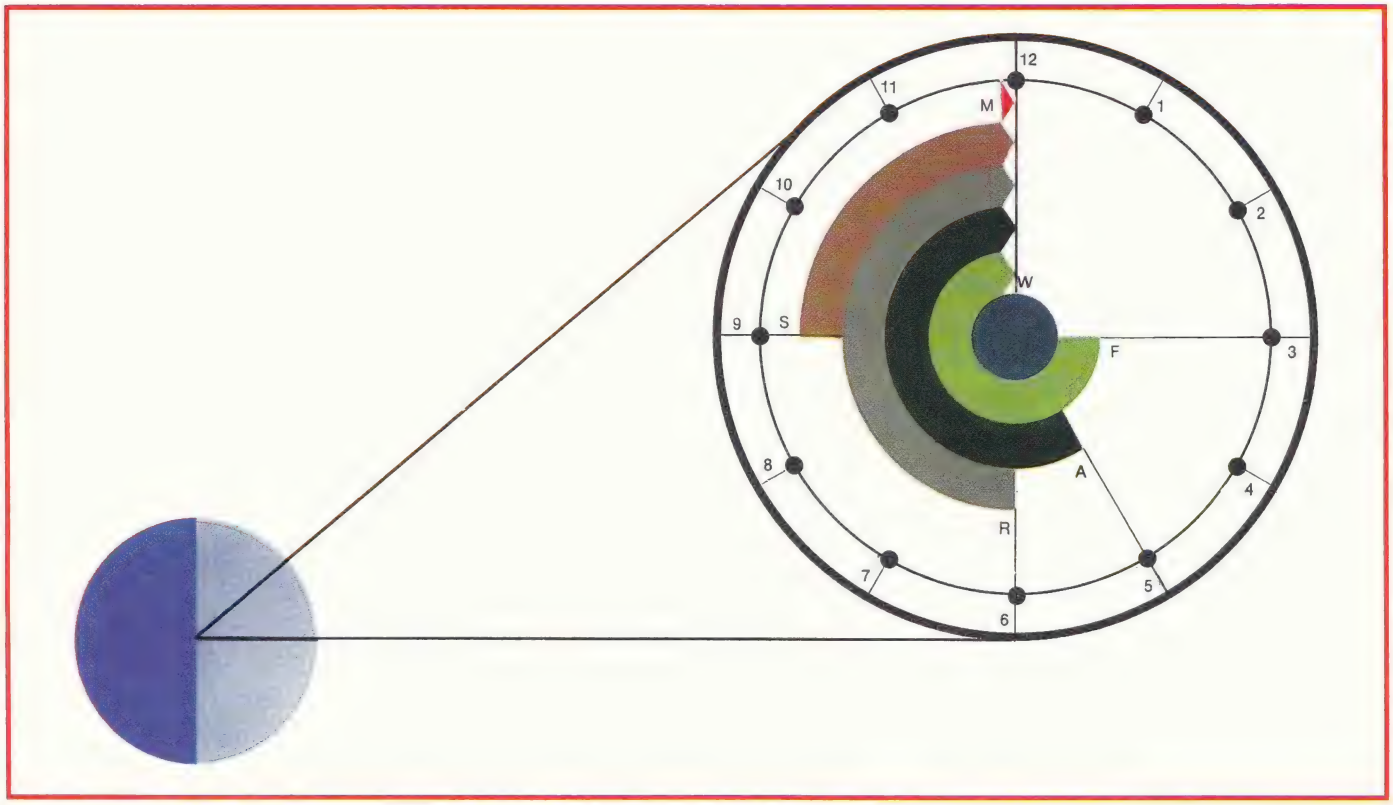
Man kann mit Sicherheit sagen, daß in den Anfangsphasen seiner Entstehung der Einfluß des Menschen auf seine Umgebung nicht viel anders war als der jeder anderen Tierart. Selbst die Entwicklung der ersten Werkzeuge und Waffen, die Beherrschung des Feuers und die zunehmend organisierte Jagd änderten das Gleichgewicht zwischen Mensch und Natur nicht grundlegend. Aber sie waren bereits schreckliche Vorzeichen dessen, was geschehen könnte, wenn der bemerkenswerte kulturelle Sprung nach vorn, der für den Menschen charakteristisch ist, die ganze Erde seiner technologischen Befähigung ausliefern würde.

Es dauerte nicht lange, bis in unserer Zeit (die wir jetzt eher nach Tausenden als nach Millionen Jahren messen müssen), um mit den Worten des Physiologen Joseph S. Weiner zu sprechen, „der Mensch in eine neue Phase seiner Entwicklung eintrat: die der entschiedenen Kontrolle und Veränderung seiner eigenen Umgebung. Dies begann mit der Manipulation elementarer Nahrungsquellen bei den Tieren und Pflanzen; es endete mit den von Menschen errichteten verstädterten Wohnbereichen und den energieregulierten Maschinensystemen unserer heutigen Zeit." Weiner fährt fort: „Damit ist nun auch die ökologische Herausforderung der Zukunft deutlich. Sie besteht in der Errichtung jener Art von sozialer Kontrolle, die das Überleben einer sicheren und harmonischen Weltgesellschaft begründet."

Die Nische des Menschen in der Natur ist jetzt die ganze Welt geworden; er stößt gerade in den Weltraum vor. Denken wir daran, daß der Mensch für die Ausrottung von mehr als 450 Arten seiner Mitlebewesen direkt oder indirekt verantwortlich ist! Sicher kann man jetzt sagen, daß die Verantwortung des Menschen für seine Umgebung jetzt planetarische Züge angenommen hat.

Ein verwirrendes Namenpuzzle

Wenn der Laie in einem Buch über die Evolution des Menschen blättert, wird er gewöhnlich durch eine Vielzahl von Namen verwirrt, die verschiedene ans Licht gekommene Entdeckungen erhalten haben. Diese Namen kommen ihm zunehmend seltsamer und komplizierter vor. Selbst wenn er die wissenschaftlichen lateinischen Namen außer acht läßt, wird der Leser sich mit einer Vielzahl von „Menschen" unterschiedlicher Herkunft auseinandersetzen müssen: Neandertaler, Rhodesiamensch, Swanscombemensch, Heidelbergmensch, Cromagnonmensch, daß es ihm vorkommen mag, als gebe es keine Höhle und kein Erdloch, die nicht einen eigenen „Menschen" hervorgebracht hätten.



Die Erde ist rund 4,5 Milliarden Jahre alt (kleiner Kreis). Entwickelte Lebensformen gibt es seit kaum mehr als 600 Millionen Jahren. Der größere Quadrant zeigt die Zeitspanne in Form einer Uhr, in der jede der zwölf Stunden 50 Millionen Jahre darstellt. Die Wirbellosen (W), die um Mitternacht erschienen, gedeihen immer noch; die Fische (F) betraten die Bühne des Lebens um 3 Uhr nachts, die Lurche (A) morgens um 5 Uhr, danach die Reptilien (R) um 6 Uhr und die Säugetiere (S) um 9 Uhr. Der Mensch begann erst um 11.25 Uhr aufzutauchen; der Homo sapiens schließlich erschien nicht vor 11.58 Uhr, zwei Minuten vor Mittag.

Dies wird um so verwirrender, wenn man erfährt, daß es unter Wissenschaftlern keine endgültige Übereinstimmung gibt, was die Interpretation der Fossilienfunde betrifft.

Im Jahre 1924 entdeckte der australische Anatom und Anthropologe Raymond A. *Dart* (geb. 1893), damals ein junger Anatomieprofessor an der Witwatersrand-Universität in Johannesburg (Südafrika), das erste fossile Überbleibsel einer Gruppe affenähnlicher Wesen. Dieser Fund sollte bei der Suche nach den ersten Menschen, getrennt von den Menschenaffen, eine sehr bedeutende Rolle spielen. Darts heute berühmter Aufsatz, in dem er seine Entdeckung beschrieb, wurde ziemlich kühl aufgenommen. Manche Fachleute behaupteten glattweg, daß der *Australopithecus,* wie das Fossil genannt wurde, nichts anderes als ein weiterer Menschenaffe mit einigen menschenähnlichen Zügen sei. Die komplette Geschichte des Australopithecus ist, wie wir sehen werden, kompliziert; und es gab mehrere Gründe für die vielfältigen und umstrittenen Deutungen, die der Kinderschädel hervorrief.

Ein Teil der Schuld für den kühlen Empfang, der Professor Dart bei seinem Debut im Bereich der Vorgeschichte zuteil wurde, ist allerdings mit der „Treue" einiger Gelehrter zu einem früheren Fund, dem *Piltdownmenschen,* zu erklären. Der Piltdownschädel (genannt nach seinem Fundort in Sussex, England) schien in eine andere Richtung der Evolution des Menschen hinzuweisen, als es die südafrikanischen Fossilien taten. Hier lohnt es sich, das Auf und Ab des Piltdownmenschen zurückzuverfolgen. Nicht nur, weil es uns etwas von dem Drum und Dran vermittelt, das mit der Untersuchung weit zurückliegender Ereignisse verbunden ist, sondern auch, weil das Ergebnis zeigt, welche

Fundorte, die die Grundphasen in der Evolution des Menschen repräsentieren:

1. *Abbeville*
2. *Broken Hill*
3. *Monte Circeo/Saccopastore*
4. *Clacton on Sea*
5. *Cro-Magnon*
6. *Al Faijum*
7. *Fort Ternan*
8. *Fontéchevade*
9. *Java*
10. *Kanjera*
11. *La Chapelle-aux-Saints*
12. *La Ferrassie*
13. *Rudolfsee*
14. *Peyzac-le-Moustier*
15. *Lewisville*
16. *Makapansgat*
17. *Mauer*
18. *Düsseltal (Neandertal)*
19. *Omo*
20. *Peking*
21. *Punin*
22. *San Diego*
23. *St.-Acheul*
24. *Swanscombe*
25. *Taung*
26. *Terra Amata*
27. *Vértesszőllős*
28. *Ehringsdorf (Weimar)*

Fortschritte, sowohl in der Verfeinerung ihrer Arbeitsmethoden als auch in der Entwicklung neuer Geräte, die Forschung gemacht hat.

Im Jahre 1908 kam Charles Dawson, ein englischer Anwalt, der sich für alles Vorgeschichtliche leidenschaftlich interessierte, in den Besitz eines Schädelteils, der von einem Straßenarbeiter in einer Kiesgrube in der Nähe von *Piltdown* ausgegraben worden war. In den folgenden Jahren fand Dawson dort weitere Schädelknochen. Schließlich berichtete er im Jahre 1912 Dr. Arthur Smith Woodward vom Britischen Museum in London von seinem Fund. Die beiden kehrten wieder zum Fundort zurück und durchsuchten die Kiesgrube gründlich. Sie fanden viele Knochenfragmente und einen affenähnlichen Kiefer.

Am 18. Dezember desselben Jahres stellten Dawson und Smith Woodward ihren Fund der Geologischen Gesellschaft von London als die Überbleibsel einer neuen Urmenschenart vor, als ein ideales Zwischenglied in der Entwicklungskette vom Affen zum Menschen. Smith Woodward gab diesem Geschöpf den Namen *Eoanthropus dawsoni.* Für die interessierten Zeitgenossen jedoch wurde er bald als der Piltdownmensch berühmt.

Von Anfang an zeigten sich einige Fachleute verblüfft über den Kontrast zwischen dem affenähnlichen Kiefer und der menschenähnlichen Hirnschale. War der Fund ein echter fossiler Mensch oder einfach das zufällige Zusammentreffen des fossilen Schädels eines Menschen und des fossilen Kiefers eines Menschenaffen am gleichen Ort?

Trotz aller Rekonstruktionsversuche paßten Schädel und Unterkiefer nicht zusammen. Durch andere Fossilienfunde, die in verschiedenen Teilen der Erde gemacht wurden, gewann man allmählich Klarheit darüber, daß, grob gesprochen, die frühzeitlichen Menschen den Schädel eines Affen und den Kiefer (einschließlich Zähne) eines Menschen besessen hatten. In dieser Gesellschaft war der Piltdownmensch eine seltsame Erscheinung. Schließlich, als wissenschaftliche Beweise sich häuften, brachte er sowohl Anthropologen als auch Paläontologen in Verlegenheit.

Im Jahre 1943 schrieb der deutsche Anatom und Anthropologe Franz Weidenreich (1873–1948), der schon 1932 erklärt hatte, der Piltdownmensch sei zu widersprüchlich, um wahr zu sein: „Je schneller das Hirngespinst Eoanthropus von der Liste menschlicher Fossilien gestrichen wird, desto besser für die Forschung."

1953 war es endlich soweit. Drei Engländer – K. Oakley, J. S. Weiner (ein ehemaliger Student R. Darts) und Sir W. Le Gros Clark – sorgten dafür, daß der Piltdownmensch endgültig von der Namensliste gestrichen wurde. Es würde zu weit führen, ihre Argumente hier im einzelnen wiederzugeben. Das eindrucksvollste Beweismaterial wurde durch einen neuen *Fluortest,* eine Erfindung Oakleys zur Datierung fossiler Knochen, geliefert. Knochen, die in der Erde liegen, absorbieren Fluorionen aus dem Grundwasser. Ist Fluor einmal von den Knochen aufgenommen worden, läßt es sich schwer wieder herauslösen. Wenn nun ein Fossil nicht die gleiche Menge Fluor wie andere Fossilien in derselben Ablagerung enthält, ist es sehr wahrscheinlich, daß das Fossil nicht mit den anderen Fossilien in dieser Schicht abgelagert wurde, sondern aus einer älteren oder jüngeren Schicht stammt.

Oakley konnte nachweisen, daß der Piltdownschädel eine kleine, aber bezeichnende Menge Fluor enthielt. Kiefer und Zähne jedoch zeigten fast gar keine Fluorspuren oder wenigstens nicht mehr, als es bei kurz zuvor eingegrabenen Knochen der Fall gewesen wäre. Auf Grund dieses und anderen Beweismaterials entlarvten Oakley, Weiner und Le Gros Clark im November 1953 auf einer Pressekonferenz den Piltdownmenschen als Schwindel. Wer war der geschickte Fälscher? Wahrscheinlich werden wir es niemals genau erfahren.

Frühere Versuche, neu entdeckte Fossilienreste zu benennen und zu klassifizieren, wurden dadurch verhindert, daß keine Knochen, mit denen sie hätten verglichen werden können, vorhanden waren. Die Vielfalt von Namen entstand dadurch, daß der gleiche Fund verschiedenen Arten zugerechnet wurde.

Heute wird als Regel allgemein empfohlen (wenn auch nicht immer befolgt), ein Fossil nicht offiziell zu benennen, bevor es vollständig

Auf dem Kongreß deutscher Ärzte und Naturwissenschaftler von 1863 in Stettin versicherte E. Haeckel, daß die nächsten Vorfahren der Hominiden in affenartigen Säugetieren des Tertiärs zu suchen seien. Im Gegensatz zu dieser ebenso kühnen wie richtigen Behauptung mutet uns diese Illustration eines „primitiven Menschen", die aus einer Abhandlung dieses großen Biologen stammt, seltsam kitschig an.

Isotop	Natürliches Vorkommen	Halbwertszeit (Jahre)
Kohlenstoff 14	organische substanzen	5.745
Protactinium 231	Meeresablagerungen	32.000
Thorium 230	Meeresablagerungen	75.000
Chlor 36	chlorhaltige Materialien	300.000
Beryllium 10	Meeresablagerungen	2.700.000
Kalium 40	vulkanische Asche, Lava	1,3 Milliarden
Uran 238	uran- und thorium-haltige Mineralien, mineralische Beimengungen in Granit	4,5 Milliarden
Thorium 232		14 Milliarden

Die Datierung von Fossilien mit Hilfe der radioaktiven Isotope bringt recht zuverlässige Annäherungswerte. Die obige Tabelle zeigt die wichtigsten radioaktiven Isotope und die für die Untersuchung gewöhnlich in Frage kommenden Materialien.

untersucht worden ist und eine Serie von Tests bestanden hat. In der Zwischenzeit wird es mit dem Namen des Fundorts bezeichnet (z. B. Olduwaikiefer) oder nach seinem Entdecker benannt. Später erhält das Fossil dann einen Doppelnamen, einen für die Gattung und einen für die Art (z. B. Homo sapiens). Wenn es in Form und Struktur mit einer kleineren, deutlich erkennbaren Gruppe innerhalb der Art eng verwandt zu sein scheint, erhält es einen dritten Namen, den der Unterart (z. B. Homo sapiens neanderthalensis).

Der Zweck wissenschaftlicher Terminologie ist es, Ordnung in eine Fülle verschiedenartiger Daten zu bringen. Sie kann daher, richtig angewandt, bedeutungsvolle Ähnlichkeiten und Unterschiede ans Licht bringen, Verwandtschaftsbeziehungen erhellen und Wegmarken für den weiteren Verlauf der Evolution kennzeichnen. Verwendet man dagegen diese methodischen Hilfsmittel ungenau, dann erzeugen sie Verwirrung oder führen auf Abwege.

Ein Vergleich fossiler Funde zweier weit auseinanderliegender Örtlichkeiten mag dazu dienen, ein ganzes Kapitel der Geschichte unserer Vorfahren zu veranschaulichen. Die Entdeckung von Knochen in derselben Ablagerungsschicht, die zu verschiedenen Arten oder Unterarten gehören, kann den Grad der Spezialisierung deutlich machen, den die Vorläufer des heutigen Menschen jeweils zu einem bestimmten Zeitpunkt erreicht hatten.

Wie wir sahen, können Fossilienfunde aus Orten, die so weit auseinanderliegen wie China und Indonesien, schließlich als zur gleichen Art gehörig klassifiziert werden. Andererseits können Überbleibsel aus der gleichen Ausgrabungsschicht bei näherer Betrachtung bedeutende Unterschiede aufweisen. Eines der Hauptziele der wissenschaftlichen Untersuchung der menschlichen Ur- und Frühgeschichte ist es, einen einfachen und ausreichend klaren Überblick über den besonderen Zweig der Evolution zu gewinnen, zu dem jeweils ein bestimmtes Exemplar gehört.

Probleme der Datierung

Bis vor relativ kurzer Zeit gab es in der *Geochronologie* (der Wissenschaft vom Datieren in erdgeschichtlichen Zeiträumen) keine zuverlässige Methode, nach der sich absolute Daten für Fossilien oder Entwicklungsstufen festsetzen ließen. Geologen und Paläontologen mußten sich auf eine (mehr oder weniger exakte) *relative Datierung* oder Zuordnung verlassen. Funde wurden entsprechend ihrer wahrscheinlichen Reihenfolge arrangiert und konnten dadurch als relativ jünger bzw. relativ älter im Verhältnis zu anderen identifiziert werden. Man konnte nicht sagen, dieser oder jener Knochenfund sei etwa so und so viele Jahre alt. Man konnte lediglich innerhalb vernünftiger Annäherungsgrenzen angeben, daß ein bestimmter Knochen so alt sei wie jener andere, den man in der Nähe gefunden hatte, oder daß er älter sei als derjenige, den man darüber in einer jüngeren Schicht gefunden hatte. Insgesamt jedoch spielten hierbei immer wieder Zufall und Wahrscheinlichkeit eine zentrale Rolle, so daß es fast einem Glücksspiel glich, wenn zu entscheiden war, ob zwei Fossilien aus zwei verschiedenen Kontinenten und aus verschiedenartigem Boden aus derselben Zeit stammten.

Die bekannteste Methode relativer Datierung ist die Messung geologischer Schichtungen *(geologische Stratigraphie).* Hierbei wird das *Gesetz der Überlagerung* befolgt. Es besagt folgendes: In der Folge unberührter Felsablagerungen befinden sich jeweils die älteren Lagen

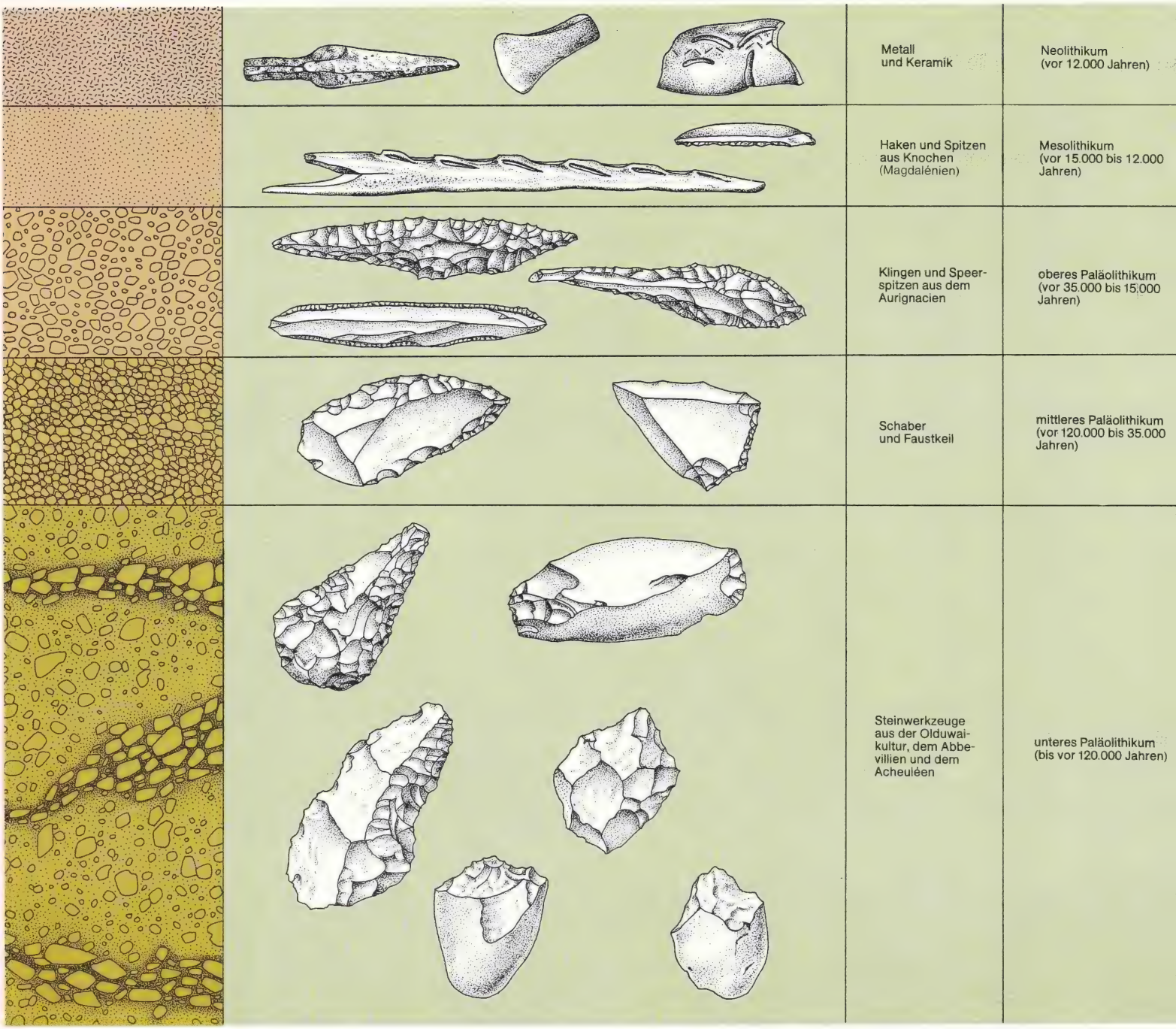
Das Skelett eines Menschen, der begraben wurde, kann in einem geologisch verwirrenden Zusammenhang gefunden werden. So können die Erdaushebungen, die einst gemacht wurden, um den Leichnam zu begraben, die ursprüngliche und ältere Stratigraphie durchstoßen und verändert haben.

oder Schichten unten und die jüngeren darüber. Unglücklicherweise liegen die Dinge nicht immer so einfach. Die ursprünglichen Schichtungen können sich durch Bewegungen und Umbildungen in der Erdoberfläche verändert haben. Dies kann im Extremfall so weit gehen, daß das Gesetz der Überlagerung unanwendbar wird. In anderen, weniger extremen Fällen können detaillierte Aufnahmen und Deutungen der verfügbaren Daten es ermöglichen, die ursprünglichen Bedingungen zu rekonstruieren.

Eine der faszinierendsten Methoden der relativen Datierung ist das mikroskopische Studium von Pollenresten am Fundort *(Pollenanalyse)*. Die Pollen von Pflanzen, die in einer weit zurückliegenden Zeit blühten, geben uns Hinweise darauf, wie das Klima damals beschaffen gewesen sein mag und welche Nahrungsketten existiert haben müssen, in die dann das Fossil einzufügen wäre.

Obwohl all diese Methoden immer noch brauchbar sind, verfügt der moderne Forscher über eine Anzahl von Techniken, die ihn das absolute Alter von Fossilien bestimmen lassen. Zwei dieser absoluten Meßtechniken, die Dendrochronologie und die Warvenanalyse, gründen sich auf seit langem bekannte Tatsachen.

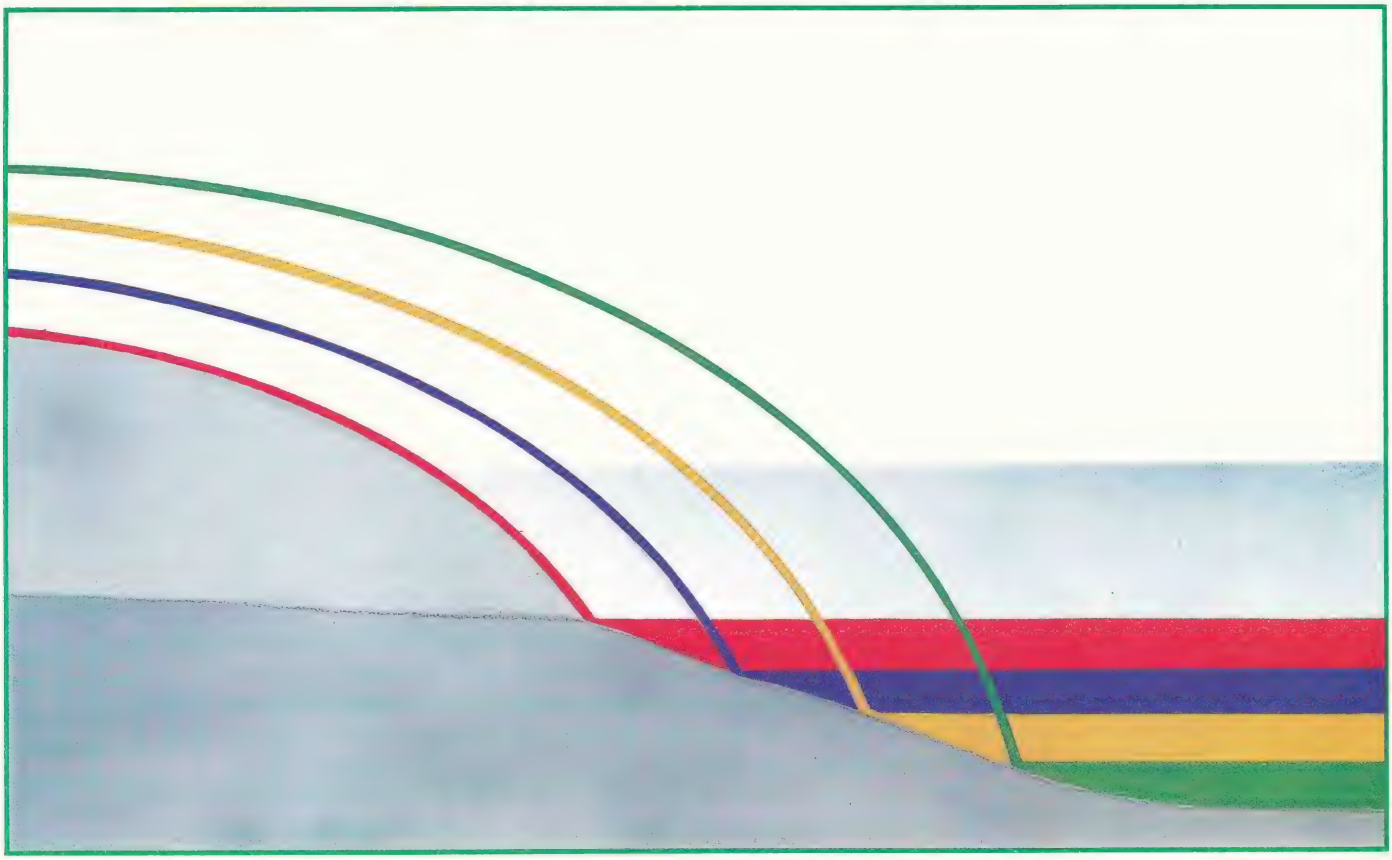
Die *Dendrochronologie* datiert Knochenfunde durch die Untersuchung der Jahresringe in uralten Holzfragmenten, die zusammen mit



Werkzeuge, die in schichtenförmigen Ablagerungen gefunden werden, erleichtern die Datierung der Fossilien.

den Knochen gefunden werden. Da jedoch die Dendrochronologie nur Rückschlüsse auf einen Zeitraum von ein- oder zweitausend Jahren zuläßt, ist sie nur bedingt von Nutzen. Man kann sie besonders bei Ausgrabungen (Nord- und Südamerika) anwenden, wo die Geschichte erheblich später einsetzt als in der Alten Welt. Dieses Datierungsverfahren ist besonders erfolgreich in heißen, trockenen Gebieten wie dem amerikanischen Südwesten, wo Holz gut erhalten bleibt.

Die *Warvenanalyse* stützt sich auf die jährlichen Ablagerungen von Schlamm und Sand, die durch das Schmelzen der Gletscher im Sommer



Eine genaue Datierungsmethode gründet sich auf die Warvenmethode, d. h. auf Ablagerungen, die von schmelzendem Eis hinterlassen wurden. Jede einzelne Warve entspricht einem Jahr.

auf dem Grund von Seen und Tümpeln gebildet werden. Derartige *Warven* haben es den Forschern ermöglicht, die Rückzugsphasen der letzten Eisdecken in Europa und Amerika zu bestimmen. Aber genau wie die Dendrochronologie reicht auch die Warvenanalyse nur einige tausend Jahre – höchstens etwa 15 000 – zurück, eine sehr kurze Periode in der Evolution des Menschen.

Als repräsentativ für die *absoluten Datierungsmethoden,* die heute überwiegend angewandt werden, kann man diejenigen bezeichnen, die sich auf unsere Kenntnisse über den radioaktiven Zerfall gründen. Diese Techniken verdanken ihren Erfolg einem Phänomen, das von dem französischen Physiker Antoine Henri *Becquerel* (1852–1908) entdeckt und 1896 bekanntgegeben wurde: der spontanen Erzeugung einer rätselhaften Energie durch einige Elemente in der Natur, die fotografische Platten, selbst durch lichtundurchlässige Schutzstoffe hindurch, schwärzt. Gemeint sind die *radioaktiven Isotope.*

Die natürlichen chemischen Elemente sind Mischungen aus mehreren Isotopen, d. h. aus Atomen, die zwar chemisch identisch sind, deren Atomkerne aber unterschiedliche Massenzahlen besitzen. Alle radioaktiven Isotope geben Energie in Form von nuklearen (aus dem Atomkern stammenden) Teilchen ab und zerfallen so allmählich in andere Elemente. Uran 235 z. B. macht durch Kernzerfall eine Reihe von Umwandlungen durch, die beim Blei, dem letzten stabilen Element im Periodensystem der chemischen Elemente, endet. Jedes radioaktive Isotop hat eine feste Zerfallszeit, die durch Umbildungen innerhalb der Erdkruste im Laufe geologischer Zeiträume nicht wesentlich beeinflußt

wird. Für den Physiker bzw. Chemiker ist nun die sog. *Halbwertszeit* von Bedeutung, d. h. die Zeit, in der die Hälfte der radioaktiven Atomkerne in einer bestimmten Menge eines gegebenen Elements zerfällt. Uran 235 z. B. hat eine Halbwertszeit von 713 Millionen Jahren.

Man hat die radioaktiven Isotope als die „Uhren der Natur" bezeichnet, weil wir mit ihrer Hilfe das Alter eines Fossils genau bestimmen können, indem wir das messen, was von dem betreffenden Isotop noch übrig ist – den Ablauf der radioaktiven Uhr. Da die Halbwertszeiten von Isotopen sehr unterschiedlich sind – sie können von Jahrmilliarden bis zu Bruchteilen einer Sekunde betragen –, sind nicht alle zur Feststellung geologischer Zeiträume geeignet. Die wertvollsten radioaktiven Prozesse, um das Alter eines Fossils zu bestimmen, stellen die Umwandlungen von radioaktivem Kohlenstoff in Stickstoff, von Uran in Blei, von Thorium in Blei, von Rubidium in Strontium und von Kalium in Argon dar.

Die bekannteste Methode des absoluten Datierens basiert auf der *C-14-Methode.* Das Kohlenstoffisotop C 14 wird ständig in der Atmosphäre gebildet und dringt in jedes Lebewesen ein. Solange ein Lebewesen (Pflanze oder Tier) noch lebt, nimmt es neues C 14 in einem Verhältnis auf, das die Zerfallsrate des Isotops ausgleicht. Wenn der Organismus abstirbt, hört er auf, C 14 zu absorbieren. Wird der betreffende Organismus nun zum Fossil und wird als solches später ausgegraben, kann man das ungefähre Todesdatum dadurch feststellen, daß man das Fossil in einen Apparat legt, der mit einem Geigerzähler ausgestattet ist und die in dem Fossil enthaltene Menge von C 14 mißt. Dieses Kohlenstoffisotop hat eine Halbwertszeit von rund 5 730 Jahren. Wenn also das Fossilexemplar die Hälfte der Normalmenge C 14 enthält, ist dies der Beweis dafür, daß der betreffende Organismus vor etwa so vielen Jahren starb. Beträgt die Menge mehr oder weniger, dann wird das Fossil entsprechend datiert.

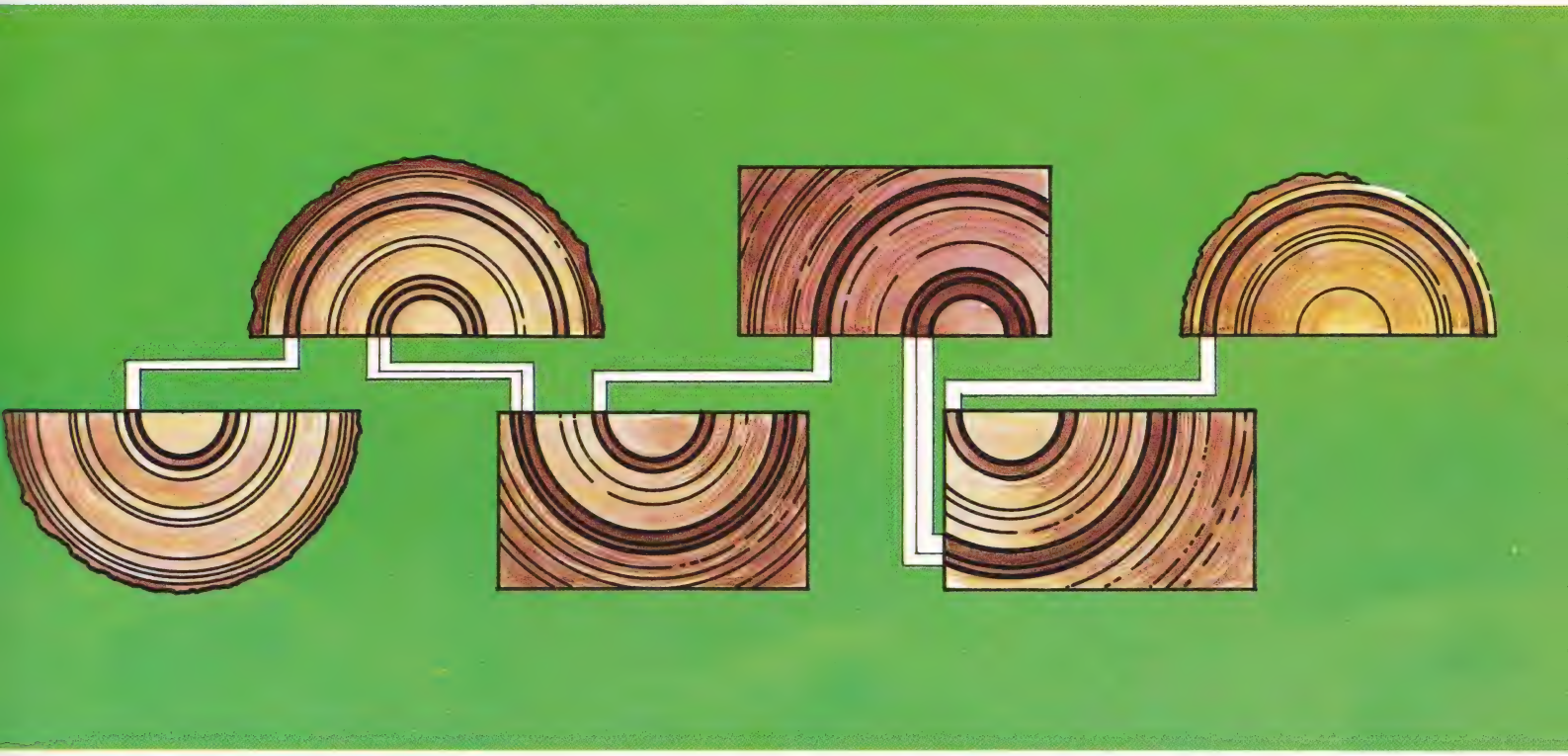
Bei dieser Methode ist allerdings große Sorgfalt erforderlich, um zu verhindern, daß das Exemplar mit irgendeiner organischen Materie in Berührung kommt. Es darf nur mit einer Metallpinzette angefaßt werden. Schon der kleinste Schweißtropfen an den Händen des Untersuchers könnte den Befund beeinflussen. Darum wird das Fossil in Stanniolpapier eingewickelt und in einem geeigneten Behälter aufbewahrt. Der Fossilteil, der dem Datierungsprozeß unterworfen wird, wird durch die Untersuchung natürlich zerstört. Man testet deshalb nur winzige Bruchstücke, auf die man bei der Rekonstruktion eines Skeletts ohne Not verzichten kann.

Bei dieser Methode arbeitet man also mit dem zunehmenden Zerfall von C 14. Je älter nun das Fossil ist, desto geringer wird sein Kohlenstoffgehalt, und um so schwieriger ist dieser zu bestimmen. Mit Geräten, die so konstruiert sind, daß sie kleinste Mengen messen, können wir die „Uhr" auf eine Zeit zwischen 50 000 und 70 000 Jahren zurückdrehen. Eine solche Zeitspanne erfaßt zwar den modernen Menschen, reicht aber kaum in die Anfangszeiten der menschlichen Entwicklung während des Pleistozäns zurück.

Gleichwohl ist man heute in der Lage, Felsstücke zu datieren, in denen die fossilen Reste unserer weiter entfernten Vorfahren gefunden wurden. Man bedient sich dazu radioaktiver Stoffe, die eine längere Halbwertszeit haben als C 14. Ein solches Arbeitsverfahren bezieht sich auf das Messen der Kaliummenge, die sich in Argon verwandelt hat. Ein radioaktives Kaliumisotop K 40 hat eine Halbwertszeit von 1 350 000 000

Rechte Seite, oben: Mit Hilfe der Dendrochronologie können wir die Zeit bis vor etwa 6 000 Jahren zurückverfolgen. Jeder Holzrest, der sich unter anderem zu datierendem Material findet, enthält eine bestimmte, für ihn charakteristische Ringfolge, die das Wachstum der Pflanze kennzeichnet. Diese Folge wird durch die jährlichen bzw. jahreszeitlichen Umweltbedingungen bestimmt.

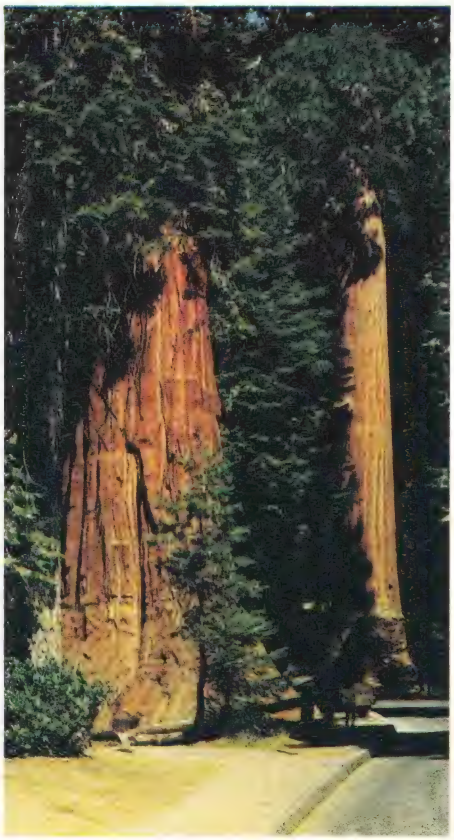
Rechte Seite, unten: Mehrere Riesensequoien, fotografiert in der Sierra Nevada, Kalifornien.



Jahren und zerfällt in Ca 40 (Calcium 40), ein in der Erdkruste häufig vorkommendes Element, und in Ar 40 (Argon 40), eines der seltenen Edelgase der Atmosphäre. Die Methode, mit der Argon und Kalium gemessen werden, ist allerdings sehr kompliziert, und ihre Genauigkeit ist begrenzt, da Argon sich bei hohen Temperaturen verflüchtigen kann. Dennoch, als man diese Methode bei Stoffen aus der Olduwaischlucht in Tanganjika anwandte, half sie, Daten für das Pleistozän zu gewinnen, welche deutlich machten, wie außerordentlich schnell sich unsere Art Homo sapiens entwickelt hat.

Allen Datierungsmethoden, die sich auf radioaktive Reaktionen beziehen, kann man einen gewissen Mangel an Zuverlässigkeit (Genauigkeit) anlasten. Alle hängen sie von bestimmten Voraussetzungen ab, z. B. von der chemischen Zusammensetzung der Erdkruste und der Erdatmosphäre früherer Zeiten. Die C-14-Methode wurde von der Kritik am meisten angegriffen. Einige Wissenschaftler haben sogar die Grundvoraussetzung dieser Methode in Zweifel gezogen, daß nämlich die Produktion von C 14 in der Zeit jener Jahrmillionen, in denen sich der Mensch entwickelt hat, relativ gleich geblieben sei. Zunehmende Sonnenaktivität und andere Naturereignisse könnten zu verschiedenen Zeiten den normalen Anteil von C 14 in der Atmosphäre verändert haben.

Allerdings verfügen die Wissenschaftler, die die Spur des Menschen durch die Zeitalter verfolgen, heute über eine Vielzahl von Tests für Knochen und Werkzeuge. Die Ergebnisse eines Tests, seien diese nun absolut oder relativ, können mit denen aus einem anderen Untersuchungsverfahren verglichen werden. Da außerdem die Datierungsmethoden verbessert wurden, können die Fachleute heute das Buch des Lebens weitaus kenntnisreicher aufblättern und die verschiedenen Fossilien in die richtige chronologische und entwicklungsmäßige Reihenfolge bringen.



Auf seiner letzten Reise begegnet Gulliver den sehr intelligenten Pferden „Houyhnhnm". Auch heute noch vertreten manche Leute die seltsame Ansicht, daß das Pferd eines der höchstentwickelten Tiere überhaupt sei.

An dieser Stelle wollen wir innehalten und die Entwicklungsgeschichte der Primaten zurückverfolgen, damit wir diese Ordnung an die richtige Stelle im eindrucksvollen Stammbaum der Säugetiere setzen können. Benutzen wir einen Augenblick lang ein Weitwinkelobjektiv! Dies macht es leichter, das ganze Panorama zu überblicken. Es ist so, als wenn wir zunächst die Umrisse eines ganzen Erdteils ins Auge fassen, bevor wir uns einem einzelnen Staat zuwenden, danach einem Teil dieses Staates, später einer Stadtgemeinde und schließlich dem Teil der Stadt, in dem wir selbst, die einflußreichsten aller Säugetiere, leben.

Die Verwandtschaft des Menschen

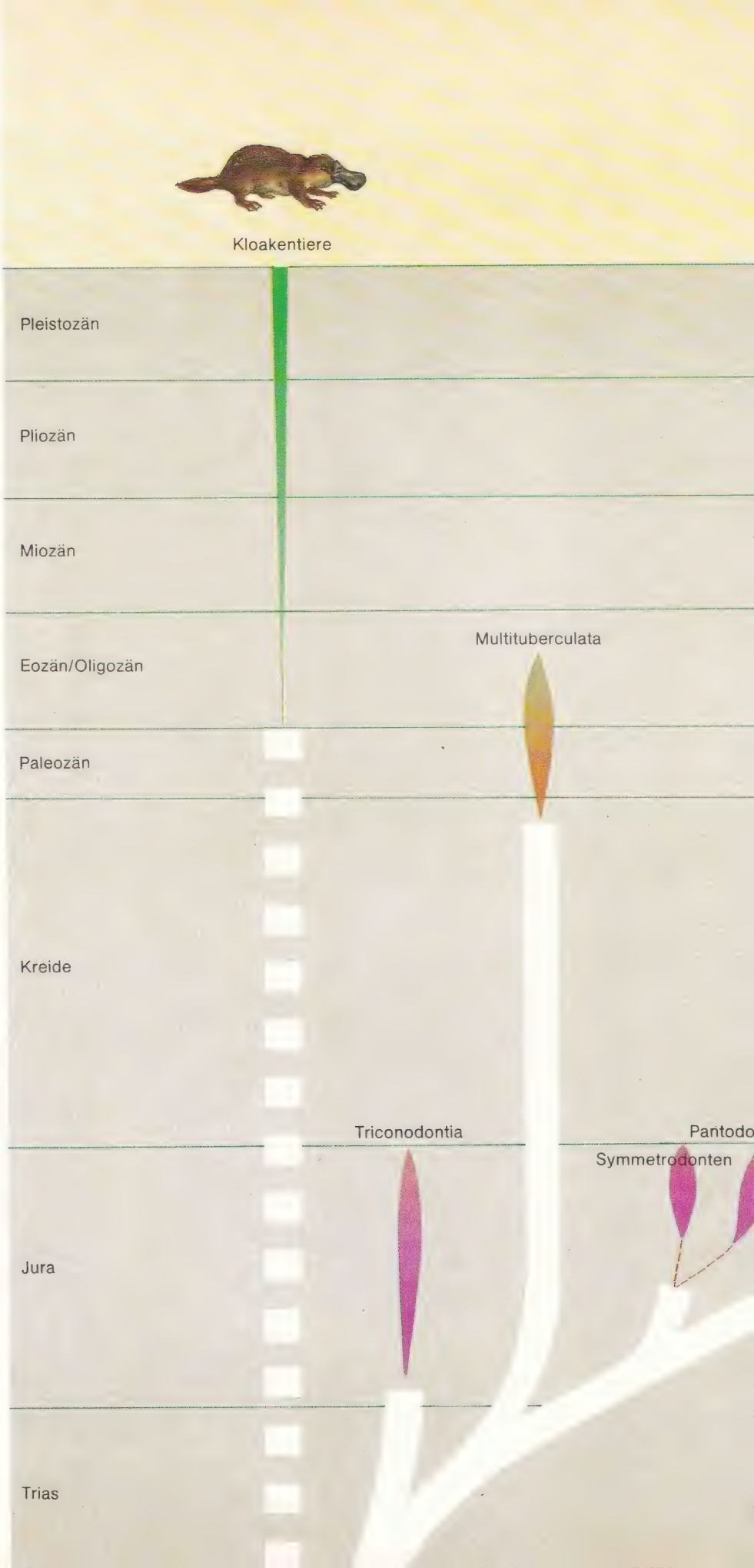
Eine erstaunliche Ordnung

Wie wir schon im ersten Kapitel festgestellt haben, ist es keine wissenschaftliche Sünde, solche anthropozentrischen Fragen zu stellen wie: „Was ist der Mensch? Wie wurde er zu dem, was er ist?" Wichtig ist nur, daß wir nicht vergessen, von Zeit zu Zeit die Nahaufnahmeposition zugunsten einer Weitwinkelperspektive aufzugeben, um den Menschen im größeren Zusammenhang der gesamten Entwicklungsgeschichte der Tiere zu sehen.

Die wirkliche Gefahr bei jeder Klassifikation des Tierreichs oder bei aufeinanderfolgender Beschreibung evolutionärer Formen liegt woanders. Sie besteht darin, daß man – beabsichtigt oder nicht – zu verstehen gibt, daß die Geschichte des Lebens eine vorherbestimmte, ununterbrochene Folge sei, die ihren Gipfel mit der besonderen Ordnung der Primaten erreicht habe und mit einer besonderen Unterart dieser Ordnung, dem Homo sapiens sapiens, ende.

Tatsache ist, daß viele Ordnungen und Arten relativ kurzlebige Sprosse an dem Evolutionsbaum darstellten; andere zweigten ab und verkümmerten, und wieder andere wuchsen und gediehen über längere Perioden, bevor sie ebenfalls verschwanden. Viele haben sich bis in die heutige Zeit hinein entwickelt – parallel zu den Primaten, einschließlich des Menschen. Wir brauchen nur einige unserer zeitgenössischen Säugetierarten anzusehen, wie z. B. die Paarhufer (Artiodactyla; Rind, Schaf, Ziege, Antilope, Reh, Giraffe, Kamel, Nilpferd, Schwein) und die Unpaarhufer (Perissodactyla; Pferd, Tapir, Zebra, Nashorn), um zu erkennen, daß in den Augen mancher Tiere die Primaten und insbesondere der Mensch ziemlich uninteressant sein könnten, sozusagen ohne evolutionären Glanz.

Aber um eben dies feststellen zu können, müßte, wie es der amerikanische Paläontologe George Gaylord Simpson (geb. 1902) formulierte, das Pferd oder die Giraffe erst zum Menschen werden. Und im Grunde sind wir Primaten, um frei nach Professor Higgins in „My fair Lady" zu sprechen, doch in der Tat eine erstaunliche Ordnung. Wir sind sehr gesellig, entschieden kompliziert, sehr aktiv, ziemlich einfallsreich und bis dato wahrscheinlich die vielseitigsten und erfolgreichsten



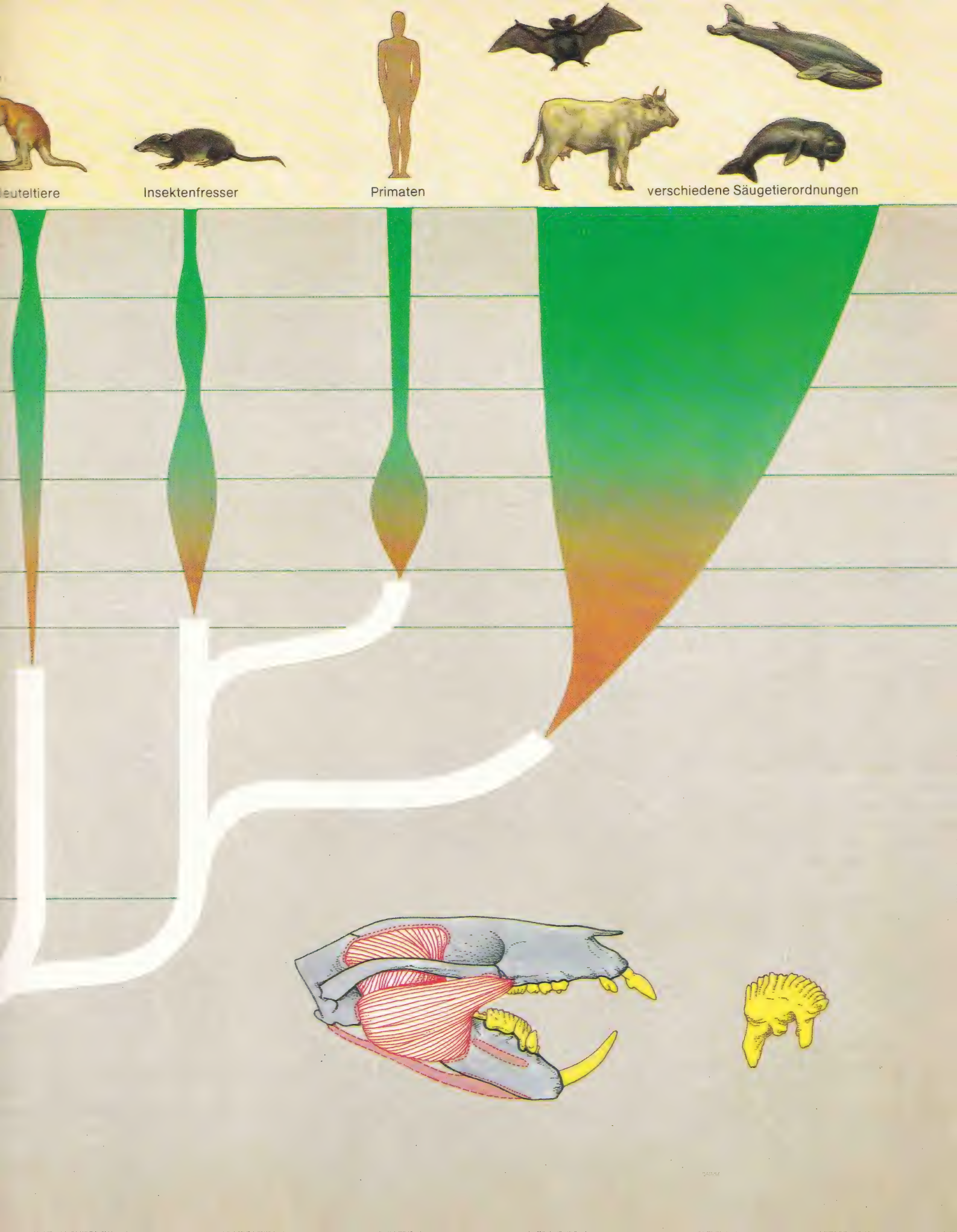
Phylogenetischer Stammbaum der Säugetiere. – Unten rechts: Rekonstruktion eines unteren Vorbackenzahns und eines Multituberkulatenschädels; die Kaumuskeln erscheinen hier besonders ausgeprägt.

euteltiere

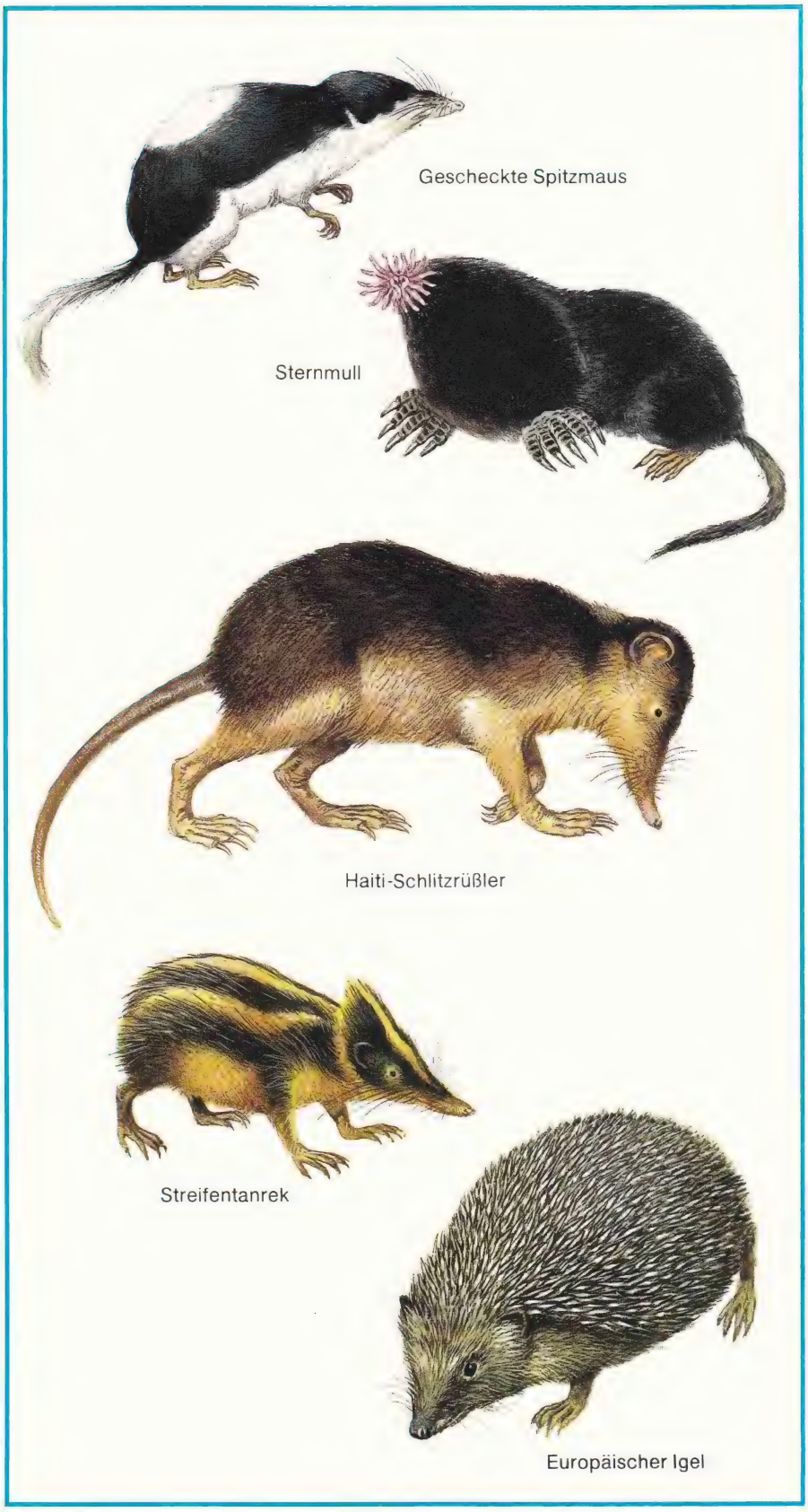
Insektenfresser

Primaten

verschiedene Säugetierordnungen



Oben: Schädel einer Spitzmaus. Klar erkennbar sind die Kontinuität zwischen der Schläfengrube und den Augenhöhlen und die fast röhrenartige Form der Hirnschale, die einem ziemlich langgestreckten Gehirn entspricht.



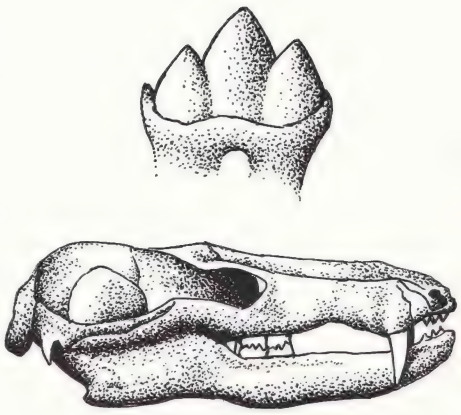
Rechts: Verschiedene Insektenfresser; von oben nach unten: Gescheckte Spitzmaus, Sternmull, Haiti-Schlitzrüßler, Streifentanrek, Europäischer Igel.

Säugetiere, die es gibt, was die Anpassung an die vielen unterschiedlichen Biotope unserer Erde betrifft.

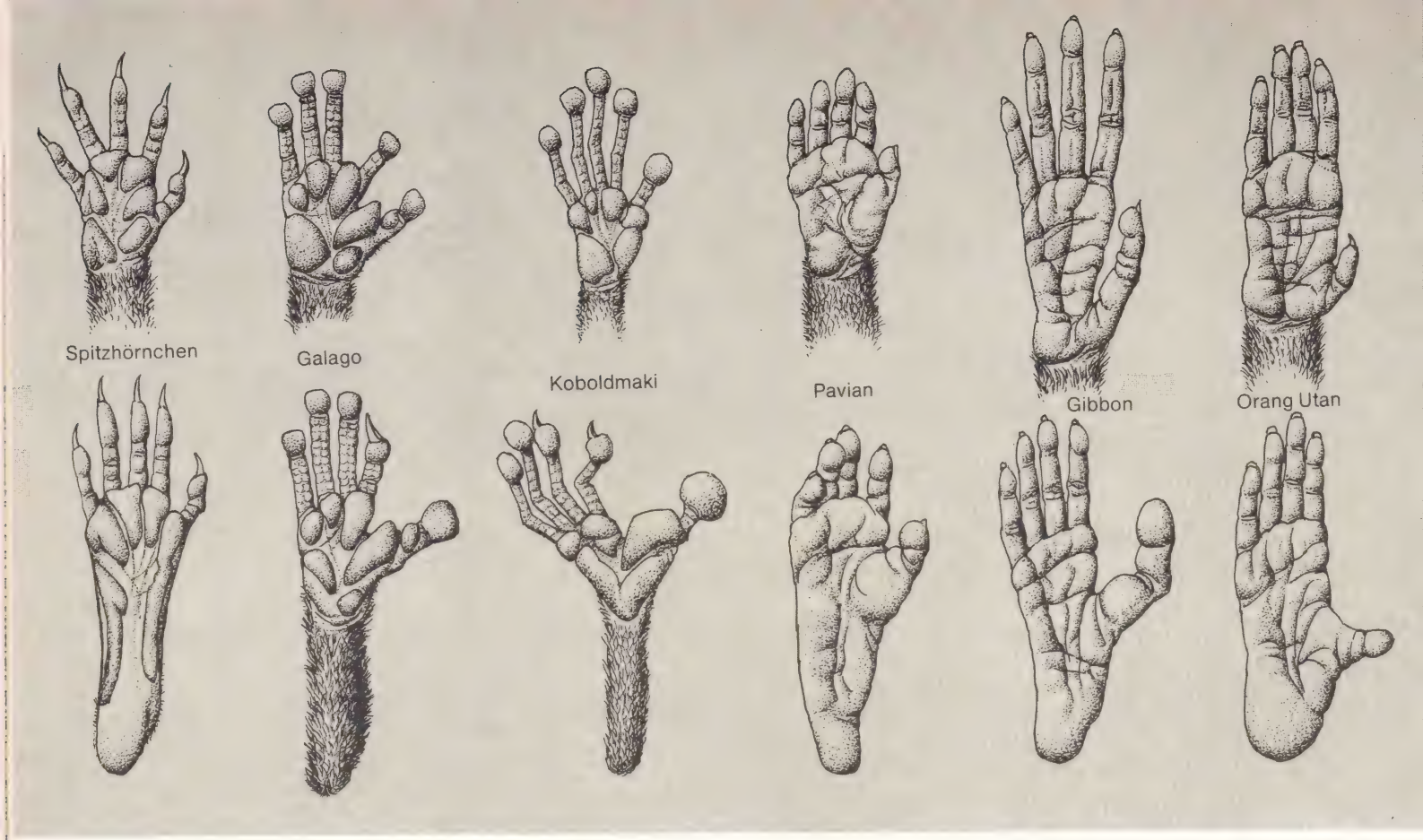
Einer der Gründe für diesen Erfolg ist ausgerechnet diejenige Eigenschaft, die uns auf den ersten Blick weniger interessant erscheinen läßt als die exotischere und spezialisiertere Fauna. Entwicklungsmäßig gesehen, sind die *Herrentiere (Primaten)* primitiver und weniger spezialisiert als andere Tiere. Mit „weniger spezialisiert" meinen wir eine Eigenschaft oder Struktur, die eine zukünftige Evolution nicht ausschließt und nicht ausschließlich in einer einzigen Richtung festgelegt ist. Spezialisierte Eigenschaften führen im allgemeinen zu keiner weiteren Evolution. Tun sie es dennoch, dann verläuft diese Entwicklung in einem engen Rahmen. Man braucht dazu nur an die in hohem Maße spezialisierten Beine eines Zuchtpferdes oder an die außerordentlich spezialisierte Anpassung der Giraffe an die Verhältnisse gewisser Gegenden in Afrika zu denken.

Mit primitiv bezeichnen wir Eigenschaften (besonders anatomischer Art), die auf Merkmale urtümlicher Säugetiere zurückverweisen. Primitive Merkmale haben sich in der Entwicklungsgeschichte der Herrentiere kaum geändert und sind in der ganzen Gruppe zu finden. An den Händen von Affen, Menschenaffen und Menschen – mit ihren beweglichen Fingern, flachen Nägeln und empfindlichen Ballen – erkennen wir ein Merkmal, das durch die Jahrmillionen hindurch in Richtung auf manuelle Geschicklichkeit zunehmend verfeinert wurde. (Die vielseitige Gebrauchsfähigkeit seiner Hände verdankt der Mensch in erster Linie der Loslösung seiner Vorderextremitäten von den Aufgaben der Fortbewegung und der gesteigerten Kontrolle der Handbewegungen durch das Gehirn.) Aber die Fünfzahl der Finger und die allgemeine Knochenstruktur der Gliedmaßen sind ein Überbleibsel von frühen Säugetieren. Die Backenzähne der Primaten haben sich erheblich verändert, bewahren aber immer noch einfache Muster der Anordnung ihrer Höcker, durch welche sie auf ihre Säugetiervorfahren zurückverweisen. Dennoch sind bei all diesen Übereinstimmungen die Menschenaffen und besonders der Mensch außerordentlich komplexe Lebewesen. In solchen Merkmalen wie der Entwicklung des Gehirns und der Vielfalt des Sozialverhaltens haben sie sich offenbar über diese Ursprünge, die sie mit anderen Tieren verbinden, hinausbegeben.

An dieser Stelle läge es nahe, sofort einige charakteritische Merkmale der Herrentiere von heute näher zu untersuchen. Bevor wir dies jedoch tun, wollen wir einen Augenblick innehalten und die Rollenbesetzung dieses Stücks kurz unter die Lupe nehmen. Zunächst gibt es die *Halbaffen (Prosimii),* die niedrigen Primaten, zu denen auch solche sonderbaren Lebewesen wie die Lemuren, Loris, Galagos und Koboldmakis gehören. Danach kommen die *Anthropoidea* oder höheren Primaten – Affen, Menschenaffen (Pongidae) und Menschen. Die *Affen* werden in zwei Gruppen unterteilt: die *Altweltaffen* (Paviane, Makaken, Seidenaffen, Schlankaffen) und die *Neuweltaffen* (Brüllaffen, Kapuzineraffen und Krallenaffen). Die *Menschenartigen (Hominoidea)* bilden ebenfalls zwei Gruppen: die *großen Menschenaffen* (*Pongidae;* Gorillas, Schimpansen und Orang-Utans) und die *kleineren Menschenaffen* (*Hylobatidae;* Gibbons und Siamangs). Zu den Menschenaffen ist auch der Mensch in einer eigenen Familie bzw. Unterfamilie zu rechnen. Der Mensch und die Menschenaffen sind beide Mitglieder der Überfamilie Menschenartige. Zur Unterfamilie der *Hominidae* gehört nur der Mensch allein.



Rekonstruktion des Schädels und eines Zahns von einem Trikonodonten. Diese primitiven Säugetiere besaßen Zähne, die schon in Schneidezähne, Eckzähne, Prämolaren und Molaren unterteilt waren. Für die Molaren ist die Anordnung der drei Höcker, die sich immer auf einer geraden Linie befanden, charakteristisch. Der volle Zahnsatz, der in einer Ablagerung gefunden wurde, bestand aus 56 Zähnen.



Primaten und Insektenfresser

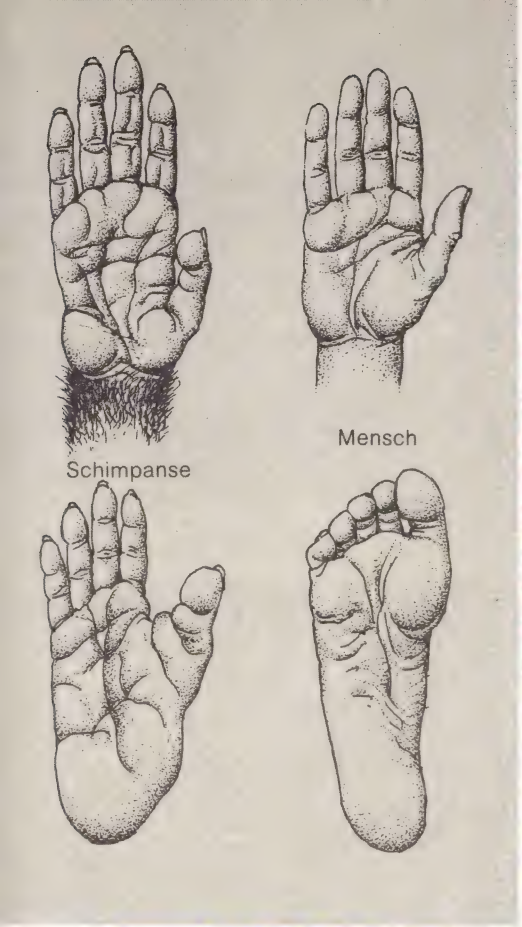
Die evolutionäre Herkunft der Primaten ist wahrscheinlich mit der der *Insektenfresser* (*Insectivora;* Maulwürfe, Spitzmäuse, Igel) eng verknüpft. Obwohl sich die Insektenfresser einer längeren Geschichte als alle anderen Tiere ihrer Klasse rühmen können, befinden sie sich doch noch unter den primitivsten Formen der Plazentatiere. Die *Plazentatiere (Placentalia)* sind diejenigen, bei denen der Embryo durch ein spezielles Organ aus mütterlichem und kindlichem Gewebe, die Plazenta, ernährt wird.

Hier müssen wir eigentlich, auch wenn dies snobistisch klingen mag, das hohe Alter unseres evolutionären Stammbaums erwähnen. Es ist sehr wahrscheinlich, daß auf irgendeine Weise, die wir noch nicht bestimmen können, die Insektenfresser mit der ältesten Säugetiergruppe, den *Pantotheria,* verwandt sind. Diese Lebewesen erschienen bereits im Zeitalter der Reptilien und lebten Jahrmillionen hindurch hinter den Kulissen einer Bühne, die von den z. T. schwerfälligen, kaltblütigen Riesen der Vorgeschichte beherrscht wurde.

Jedes Gespräch über rezente Primaten muß mit den *Spitzhörnchen (Tupajas)* beginnen. Es sind dies Lebewesen, die nicht größer sind als Eichhörnchen und irgendwo zwischen den Insektenfressern und den Primaten anzusiedeln sind. Ihre zoologische Einordnung bereitete lange Zeit Schwierigkeiten. Die Wissenschaftler, die bekanntlich leidenschaftlich gern klassifizieren, zählten sie je nach Meinung und vorliegendem Beweismaterial teils zu den Primaten und teils zu den Insektenfressern. Heute scheinen die Spitzhörnchen endgültig aus der Ordnung der Primaten ausgeschlossen zu sein. Man hat ihnen inzwischen eine eigene Unterordnung zugeteilt: *Menotyphla.*

Oben: Hände (obere Reihe) und Füße (untere Reihe) des Spitzhörnchens (Tupaja) und verschiedener anderer Primaten: Galago, Koboldmaki, Pavian, Gibbon, Orang-Utan, Schimpanse, Mensch.

Rechte Seite: Das Spitzhörnchen und vier Primaten, die alle Stufen in der Evolutionsgeschichte ihrer Ordnung verkörpern: Koboldmaki, Gibbon, Schimpanse und Mensch.

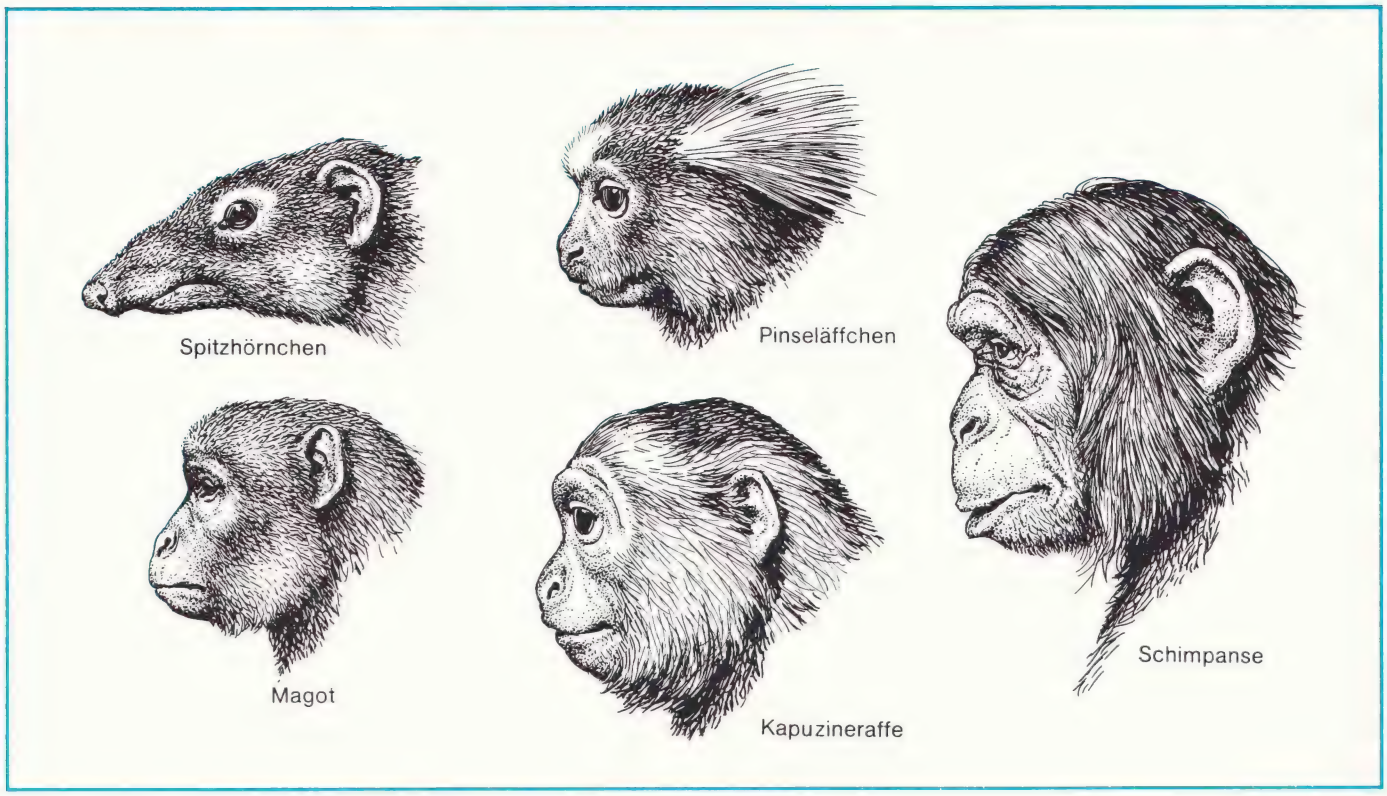

Schimpanse
Mensch

Analogie der Frontalaugen bei zwei Raubtieren: Gepard und Eule.

Fossile Reste, alle in waldigen Gegenden aufgefunden, bezeugen die lange Zeitspanne – 50 Millionen Jahre –, während der dieser kleine Begleiter unserer Ordnung sein Leben auf Bäumen geführt hat. Dadurch hat das Spitzhörnchen eine Anzahl außerordentlich primatenähnlicher Merkmale entwickelt.

Im Dickicht des Waldes ist für einen Baumbewohner die Sehkraft viel wichtiger als die Schärfe des Geruchssinns, die wiederum für die auf dem Erdboden lebenden Tiere entscheidend ist. So stellen wir beim Spitzhörnchen fest, daß sich das Sehzentrum in der Großhirnrinde vergrößert hat und der Schädel ein wichtiges Merkmal aufweist, das der Insektenfresserschädel nicht besitzt: Die Augenhöhlen des Spitzhörnchens sind, wie bei Menschenaffen und beim Menschen, von den Schläfengruben getrennt. Was den Geruchssinn des Spitzhörnchens, betrifft, so sind das Riechzentrum im Gehirn und die Riechmuscheln in der Nasenhöhle nicht besonders entwickelt, auch wenn es sein Revier mit einem Duftdrüsensekret markiert.

Dem Spitzhörnchen fehlt im übrigen ein sehr wichtiges Merkmal, das das Waldleben erheblich erleichtert: Bei ihm sind Daumen und Großzehe nicht den anderen vier Fingern opponierbar, und statt Nägeln hat es scharfe Krallen. Demgegenüber haben unsere eigenen Hände, wie die Hände und Füße aller anderen Primaten, einen Finger (den Daumen), der sich über die restlichen vier Finger legen kann. Auf diese Weise können wir, wie auch die anderen Primaten, mit unseren Händen (die Affen auch mit ihren Füßen) Gegenstände packen. Die Hände können sich darüber hinaus an einem Ast festhalten, wobei sie das ganze Körpergewicht tragen.



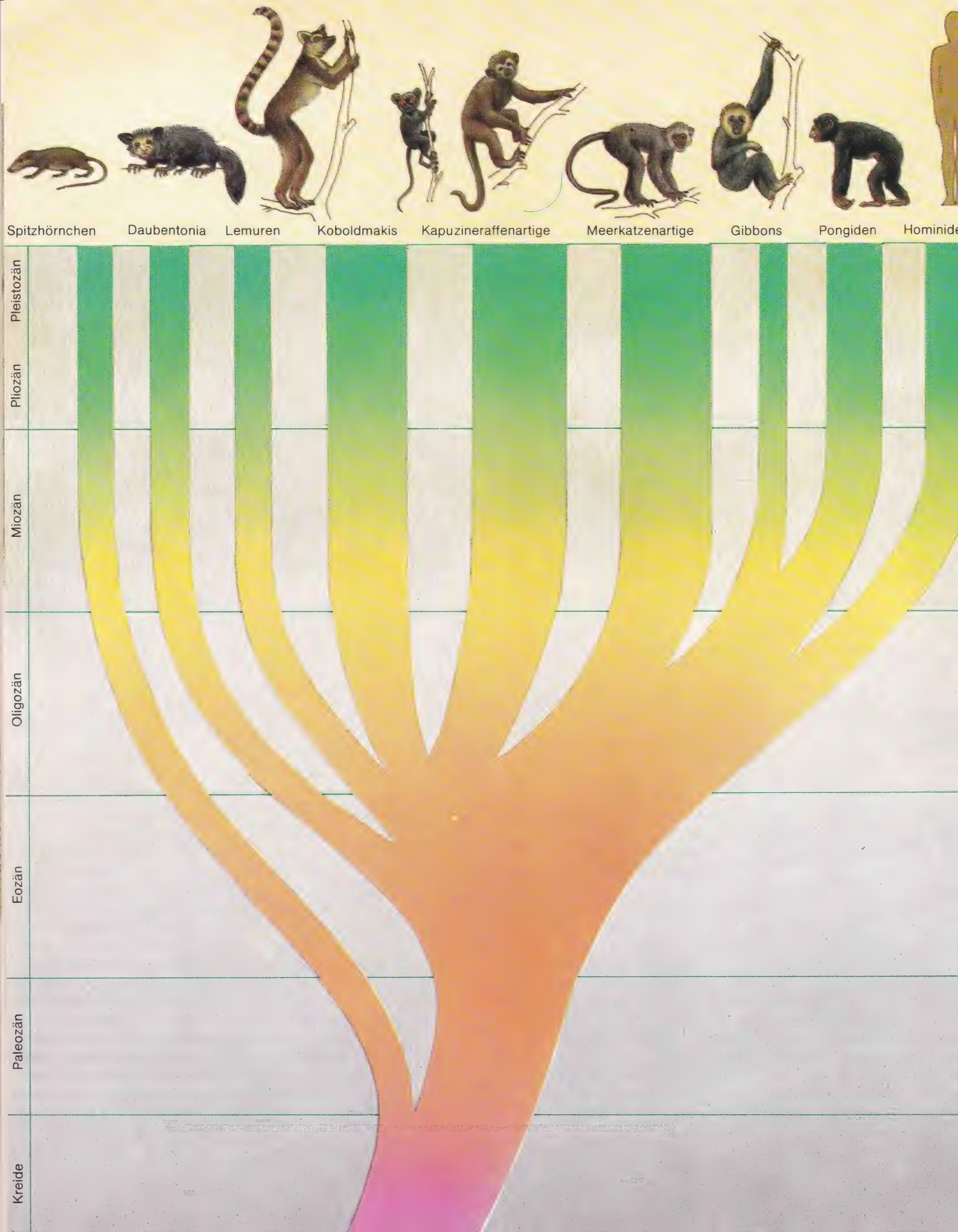
Zunehmende Verkürzung der Primatenschnauze; von links: Spitzhörnchen, Krallenaffe, Magot, Kapuzineraffe und Schimpanse.

Der Daumen und die Großzehe des Spitzhörnchens sind nicht ganz so geschickt, dafür aber so beweglich, daß die Gefahr abzustürzen gering ist. Außerdem verfügt das Tier über eine große Sprungkraft. Dabei balanciert es sein Körpergewicht mit Hilfe des Schwanzes aus – eines weiteren Organs, das man normalerweise mit dem Baumleben verbindet.

Die Primaten haben den Entwicklungsprozeß, der mit dem Spitzhörnchen anfing, fortgesetzt. Der opponierbare Daumen wurde ein charakteristisches Merkmal aller Mitglieder dieser Ordnung. Gewöhnlich sind auch die Nägel abgeplattet, ähnlich wie bei uns.

Gleichzeitig verbesserten sich ständig die Sehorgane und -nerven in Reaktion auf Umweltveränderungen. Ein besonderes Detail: Die Augen wurden größer und verschoben sich allmählich zur Vorderseite des Kopfs hin – ins „Gesicht". Beim niedlichen *Galago* mit seinem traurig anmutenden Gesichtsausdruck, der dem eines hilflosen Kindes ähnelt, und bei anderen Primaten sind die Augen endgültig nach vorn verlagert, wodurch beide in dieselbe Richtung blicken und ein *stereoskopisches Sehen* ermöglichen. Diese stereoskopische Sehweise ist bei jenen Tierarten, die hauptsächlich im Wald leben, am stärksten entwickelt. Sie macht es ihnen möglich, Entfernungen zu schätzen, so daß sie „falsche" Bewegungen vermeiden, durch welche sie ihre Beute verfehlen oder auf unerwartete Hindernisse stoßen könnten. Nach vorn gerichtete Augen findet man auch bei Katzen und den Eulen.

Die Notwendigkeit einer zunehmend differenzierteren Koordination zwischen Sehvermögen, körperlicher Bewegung und den Greifmöglichkeiten des opponierbaren Daumens hatte eine bedeutende Weiterent-


Spitzhörnchen
Daubentonia
Lemuren
Koboldmakis
Kapuzineraffenartige
Meerkatzenartige
Gibbons
Pongiden
Hominide
Pleistozän
Pliozän
Miozän
Oligozän
Eozän
Paleozän
Kreide

wicklung des Gehirns zur Folge. Dies, in Verbindung mit einem entsprechenden Rückgang des Geruchssinns, ergab schließlich eine zunehmende Rundung der Schädelform: Die Evolution verlief zunehmend vom zugespitztem „Gesicht" der frühesten fossilen Primaten zu den runderen Köpfen und stumpferen Nasenformen der Koboldmakis und Lemuren und zuletzt zum Gesicht der meisten Affen, Menschenaffen und Menschenarten hin.

Die Halbaffen

Vor rund 50 Millionen Jahren begannen die Affen sich aus Halbaffenarten, die mit den heutigen Galagos, Lemuren und Koboldmakis vergleichbar sind, zu entwickeln. Stammesgeschichtliche Untersuchungen haben die enge Verwandtschaft der Affen mit den *Koboldmakis* ans Licht gebracht. Diese seltsamen Primaten besitzen sehr große, starrende Augen, die ihnen den Beinamen „Gespenstertiere" eingebracht haben. Der lateinische Name dieser Gattung, *Tarsius,* bezieht sich vermutlich auf ein langgestrecktes Fußglied (Tarsus; bestehend aus dem stark verlängerten Fersen- und Kahnbein).

Diese kleinen Tiere mit dem langen Schwanz und den langen Hinterbeinen haben große, gut entwickelte Tastpolster an den Fingerspitzen, die es ihnen ermöglichen, sich an flachen, glatten Flächen festzuklammern. Die Koboldmakis sind geschickte Nachtjäger und ernähren sich vorwiegend von Insekten, Eidechsen und Geckos. Mit Hilfe ihrer Hinterbeine, die sie wie ein Frosch in die Länge strecken können, sind sie in der Lage, rasch und behende von Baum zu Baum zu springen. Der Schwanz hilft ihnen vermutlich dabei, das Gleichgewicht zu halten. Untersuchungen ihres Blutserums haben die enge Verbindung, die es zwischen den Menschenaffen und mehreren Koboldmakiarten gibt, bestätigt. Heutzutage gibt es den Koboldmaki nur noch auf den Philippinen und den Sundainseln, obwohl er einst auf der ganzen Erde weit verbreitet war.

Die Loris und die Galagos, obwohl eng miteinander verwandt, stellen zwei eigene Gruppen dar, welche während des Anpassungsprozesses an das Baum- und Nachtleben verschiedene Wege einschlugen. Die *Loris* sind langsame Kletterer und Kriecher, die *Galagos* sind demgegenüber als gewandte Springer charakterisiert. Diese Tiere wurden in allen Teilen Afrikas gefunden, besonders südlich der Sahara und auf Sansibar und auf manchen anderen Inseln entlang der Küste. Loris gibt es auch in Südostasien.

Die Loris bewegen sich „vierhändig" an den Ästen entlang und sind durch ihren kraftvollen Griff bekannt. (Es ist schon vorgekommen, daß drei Männer benötigt wurden, um einen Lori von einem Baum zu zerren, an dem er sich festgeklammert hatte.) Sie verfügen auch über kräftige, besonders gut entwickelte Daumen und Großzehen.

Die Galagos oder *Buschbabies,* wie sie oft genannt werden, haben einen langen Schwanz und zum Greifen geeignete Hände und Füße mit fünf gut entwickelten Fingern. Sie sind geschickte Springer und bewegen sich von Baum zu Baum, behend und elegant zugleich. Auf dem Erdboden erinnern ihre Bewegungen an die eines Känguruhs.

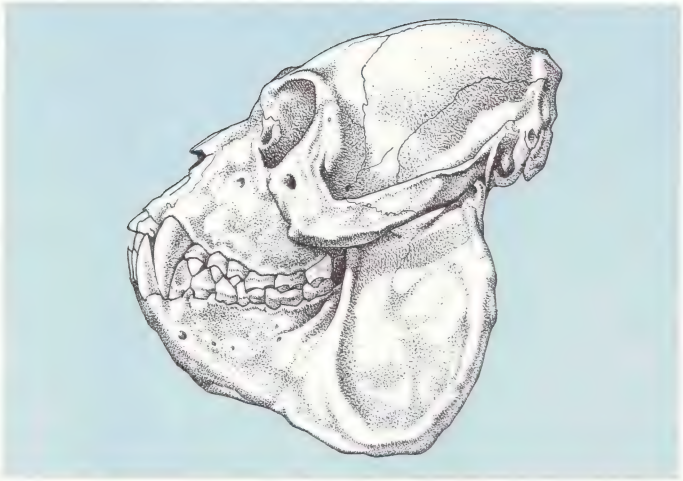
Die dritte Gruppe der rezenten Halbaffen bilden die *Lemuren,* die es heute nur noch auf Madagaskar gibt. Über die Lebensweise dieser faszinierenden Tiere ist leider immer noch relativ wenig bekannt. Wir wissen aber, daß ihre Lebensgewohnheiten unterschiedlich sind und

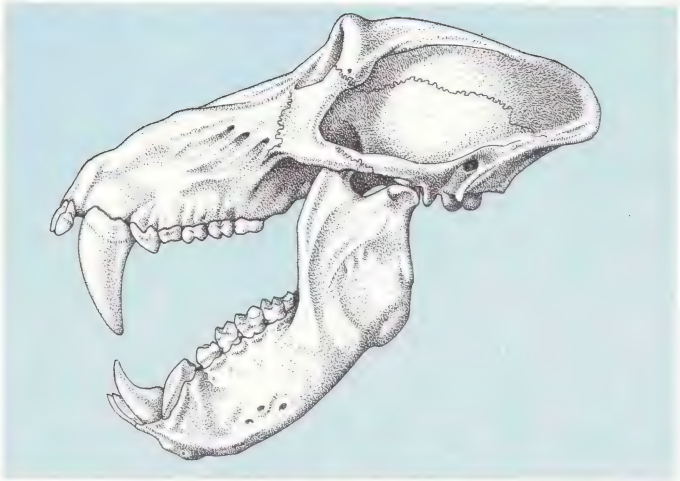
Stammbaum der Primaten: Die Abzweigung, die einerseits zu den Hylobatidae (Gibbons) und den Großen Menschenaffen, andererseits zu den Hominiden führte, erfolgte im Oligozän.

daß sie eine soziale Rangordnung wie die höheren Primaten entwickelt haben. Einige wenige sind Nachttiere, die meisten aber Tagtiere. In ihrer Verschiedenartigkeit bieten sie dem Wissenschaftler interessante Einblicke in den Prozeß der Evolution.

Die Alte und die Neue Welt

Die Bewegung der Kontinente spielte eine bedeutende Rolle beim Fortgang der Entwicklung der Primaten. Wenn wir die geologische Geschichte der Erdoberfläche verfolgen, wird deutlich, daß die Kontinentalmassen sich nicht immer an der Stelle befanden, an der die Landkarten sie heute zeigen. Tatsächlich bewegen sich die Kontinente immer noch, nur ist diese Verschiebung ohne feinste Meßinstrumente nicht wahrnehmbar. In vergangenen Perioden der Weltgeschichte hat es ernorme *Kontinentalverschiebungen* dieser Art gegeben. Besonders





interessant sind für uns die Bewegungen, welche die sogenannten „Landbrücken" zwischen den mächtigen Kontinentalmassen geschaffen haben. Wir wissen z. B., daß der Isthmus von Panama über Jahrmillionen hin aufbrach und sich wieder schloß.

Auf Grund dieser Verschiebungen entwickelten sich nach einer gewissen Zeit, wahrscheinlich im Eozän, zwei verschiedene Abstammungslinien bei den Affen aus einer Gruppe von Halbaffen. In der Neuen Welt – genauer in Südamerika – sind die Affenarten, die sich dort entwickelt haben, verhältnismäßig klein und sehr flink. Alle sind Baumbewohner geblieben, und fast alle haben einen kräftigen Greifschwanz, der praktisch als fünfte Hand dient. Es sind dies die *Breitnasen (Neuweltaffen, Platyrrhina),* so genannt wegen ihrer langen, platten Nase, in der die Nasenlöcher mit breitem Zwischenraum seitwärts gerichtet sind. Zu dieser Überfamilie gehören die Krallenaffen, die

Oben: Die Evolution der Affen verlief in der Alten und Neuen Welt unterschiedlich: Dies führte zu den heutigen Unterschieden zwischen den Neuweltaffen (Breitnasen; z. B. Brüllaffe, linke Abbildung) und den Altweltaffen (Schmalnasen; z. B. Mandrill, rechte Abbildung). Die Trennung der Gruppen fand im Oligozän statt.

Linke Seite: Anordnung der Kontinente im Tertiär. Die Landbrücken, die hier gezeigt werden, erlaubten Kontakte zwischen Tierpopulationen aus verschiedenen Bereichen. Später verschwanden einige Landbrücken im Meer mit der Folge, daß verschiedene Gruppen unterschiedliche Entwicklungswege einschlugen.

Elterliche Fürsorge bei den Pavianen.

Kapuzineraffen und die Springtamarins. Sie leben, wie schon erwähnt, ausschließlich auf Bäumen und sind alle Vierbeiner.

Die Affen der Alten Welt wurden demgegenüber größer. Bei ihnen verkürzte sich der Schwanz oder verschwand bei manchen Arten, die das Baumleben aufgegeben hatten, völlig. Trotz dieser Gruppen von Bodenbewohnern sind die *Altweltaffen* aber vorwiegend vierbeinige Baumbewohner wie die Platyrrhina. Vielleicht waren es klimatische Unterschiede, vielleicht auch der Drang nach mehr Lebensraum, der z. B. die Paviane und die Makaken dazu veranlaßte, den Wald zu verlassen. Die Altweltaffen, zu denen die Meerkatzen, Schlankaffen und Menschenaffen gehören, werden unter der Bezeichnung *Schmalnasen (Catarrhina)* zusammengefaßt. Bei ihnen ist die Nasenscheidewand schmal gehalten, und die Nasenlöcher sind nach vorn und unten gerichtet. Auch der Mensch und die Menschenaffen gehören zu den Schmalnasen. Sie sind aber bedeutend enger miteinander verwandt als

mit den übrigen Affen, die sich wahrscheinlich viel früher von dem Entwicklungsast der Primaten abzweigten.

Die Menschenaffen

Mit den *Großen Menschenaffen (Pongidae, Anthropomorphae)* haben wir die fortgeschrittensten Mitglieder unter den Primaten erreicht, ausgenommen natürlich den Menschen selbst. Zusammen mit den Gibbons (Kleine Menschenaffen) und uns bilden sie die Überfamilie der *Menschenartigen (Hominoidea).* Anatomisch gesehen, haben sie eine starke Ähnlichkeit mit dem Menschen. Diese Ähnlichkeit hat uns oft in die Versuchung gebracht, sie als drollige „Halbmenschen" zu behandeln. Wenn wir sie aber ernsthaft betrachten, können wir von ihnen viel über unser gemeinsames evolutionäres Erbe lernen.

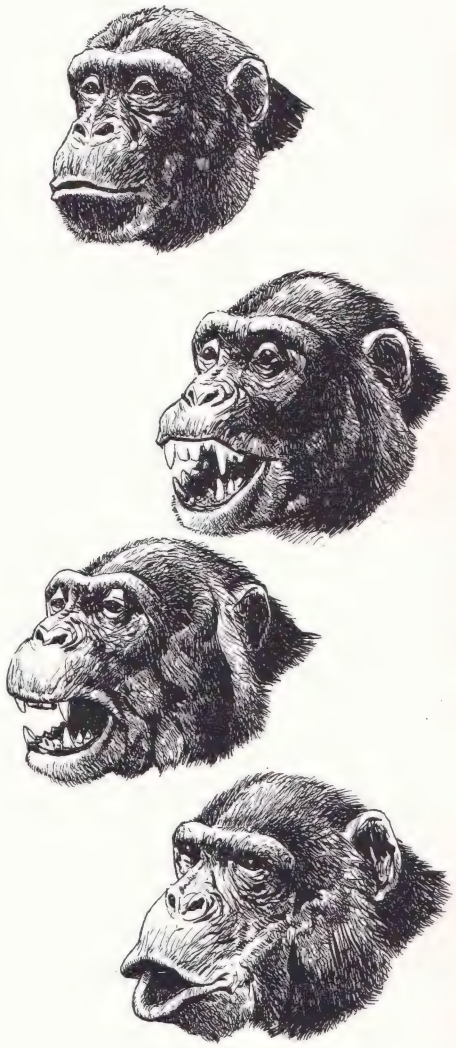
Der *Gibbon* und der *Orang-Utan* sind Asiaten und Baumbewohner, während der *Schimpanse* und der *Gorilla* Afrikaner sind und die meiste Zeit ihres Lebens auf dem Erdboden verbringen. Von diesen vier ist der Schimpanse der engste Verwandte des Menschen. In bezug auf den Verwandtschaftsgrad unter den Primaten hat uns die Serologie, die Lehre vom Blutserum, manche interessante Beweise geliefert. In einem Test werden die Proteine vom Blutserum der verschiedenen Primaten chemisch voneinander getrennt und bilden ein Muster von Einzelkomponenten. Ein Vergleich dieser Muster zeigt, daß die Proteine von Schimpansen und Gorillas den menschlichen Proteinen am meisten entsprechen. Die Proteine von Orang-Utan und Gibbon weisen gegenüber den menschlichen Proteinen größere Unterschiede auf, und die Proteine der Alt- und Neuweltaffen sind von unseren noch weiter entfernt. Die geringste Ähnlichkeit besteht zwischen den Proteinen des Menschen und denen der Halbaffen.

Nach einer bestimmten Lehrmeinung stehen Gibbon und Orang-Utan einander sehr nahe – viel näher als ihren afrikanischen Verwandten. Die *Gibbons (Hylobatidae)* sind kleiner als alle anderen Menschenaffen. Sie wiegen etwa 10–15 kg und erreichen eine Größe von rund 90 cm. Die *Siamangs (Symphalangus),* eine Gattung der Gibbons, werden nicht ganz so groß. Bei ihnen sind die zweiten und dritten Finger miteinander verwachsen. In den dichten Wäldern von Indonesien und Südostasien leben Gruppen von Gibbons innerhalb eines Lebensraums von etwa einem halben Quadratkilometer, den sie notfalls kämpferisch verteidigen.

Der *Orang-Utan* (der aus dem Malaiischen stammende Name bedeutet wörtlich „Waldmensch") wird heute nur auf Borneo und Sumatra gefunden. Dieser scheue Bewohner der tropischen Regenwälder läßt sich nicht leicht beobachten. Obwohl er sich schwingend von Ast zu Ast hangeln kann, bedient er sich doch häufiger aller vier Gliedmaßen, um zu klettern und sich auf der Suche nach Früchten durch die Bäume zu bewegen. Man hat ihn in einer seiner charakteristischen Haltungen fotografieren können: Während er mit einer Hand am Ast hängt, widmet er sich mit der anderen Hand und den beiden Füßen einem Leckerbissen.

In Afrika sind die Menschenaffen eher Bodenbewohner. Obwohl der *Gorilla* ein Waldbewohner ist, hält er sich auch in weniger dicht bewaldeten Gebieten auf. Er ist der größte unter den Menschenaffen und verbringt einen bedeutenden Teil seines Lebens unterhalb der Bäume. Der *Schimpanse* ist in Westafrika zu Hause. Er lebt dort in Wäldern und in den Savannen.

Einige Beispiele für die komplexe und reichhaltige Mimik eines Schimpansen.



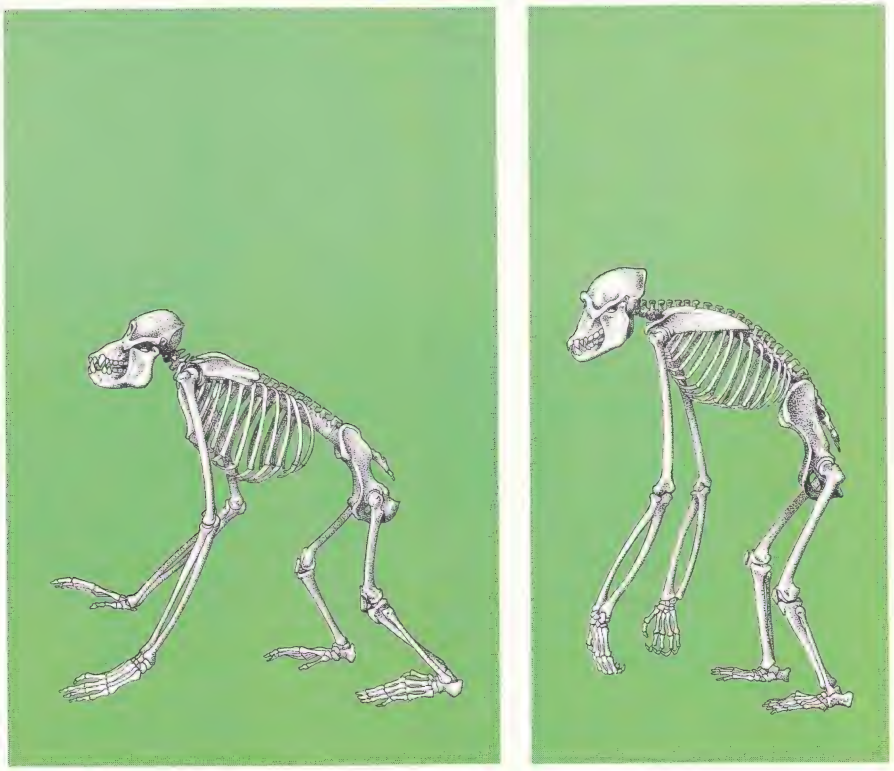
Beide Menschenaffenvertreter bauen Nester, die Schimpansen in Bäumen, die meisten Gorillas auf dem Waldboden. Die Nahrung der Gorillas besteht im wesentlichen aus Pflanzen (besonders Blätter, junge Triebe und das Mark von Pflanzenstengeln). Die Schimpansen ernähren sich hauptsächlich von Früchten, verzehren aber auch Termiten und das Fleisch kleinerer Tiere.

Was die Fortbewegung anbetrifft, sind sowohl Gorilla als auch Schimpanse *Knöchelgänger*. Das heißt, sie benutzen die Sohlen ihrer Füße und die Knöchel ihrer Hände, um sich abzustützen. Beide können bis zu einem gewissen Grade schwinghangeln, sind aber doch keine echten Hangler wie die Gibbons.

Von allen Primaten, abgesehen vom Menschen, wissen wir über das *Sozialleben* der Gorillas und Schimpansen am besten Bescheid. Sie bieten uns einige interessante Kontraste. Um einmal zu verallgemeinern und, wie mancher wohl sagen würde, großzügig zu anthropomorphisieren, könnte man sagen, die Gorillas seien reservierte Charaktere, stoisch und zurückhaltend. Man könnte andererseits aber auch behaupten, sie seien liebenswürdig und friedfertig – trotz der Legenden von ihrem wilden Verhalten, das vor allem in furchterweckenden Reaktionen gegenüber Eindringlingen besteht.

Zweifellos sind die Schimpansen unter den Menschenaffen die erklärten Lieblinge des Menschen. Sie geben sich geräuschvoll und ungehemmt, nachdenklich und zärtlich, sind gesellig und mitteilsam, besonders intelligent und einfallsreich. Alle diese Attribute wurden ihnen zu dieser oder jener Zeit zugesprochen; sie zeigen, daß die Schimpansen dem Menschen in der Vielfalt ihres Verhaltens und ihrer Reaktionen auf ihre Umwelt ähneln.

Die Skelette der drei Großen Menschenaffen (Orang-Utan, Schimpanse, Gorilla) und des Menschen.

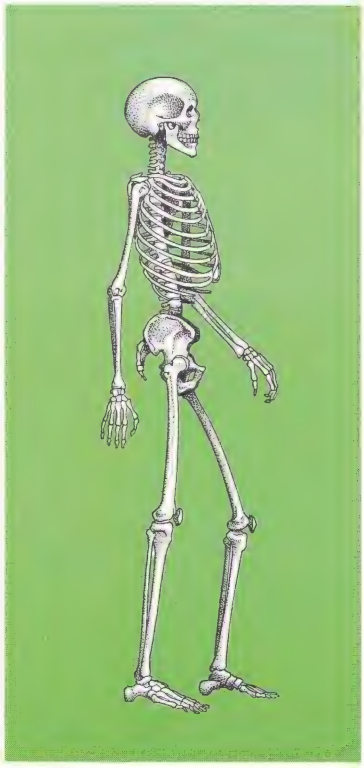


Im 5. Jahrhundert v. Chr. führte der karthagische Seefahrer *Hanno* eine bedeutende Flotte an der Küste von Westafrika entlang. Sein Bericht wurde uns in einer griechischen Übersetzung überliefert. Irgendwo auf dieser Reise traf er auf eine Gruppe von „Wilden", die imstande waren, sich „mit Zähnen und Klauen" zu verteidigen, als die Karthager sie zu fangen versuchten. Nur drei „sehr haarige" weibliche Gestalten wurden ergriffen; da man sie aber nicht an Bord halten konnte, wurden sie getötet. Die Häute wurden nach Karthago zurückgebracht.

Diese „Wilden" waren wahrscheinlich Gorillas. Ein Menschenaffe mit einem Gewicht von über 50 kg kann sich, wenn man ihn in die Enge treibt, sehr eindrucksvoll verteidigen. Offenbar kam es Hanno niemals in den Sinn, bei diesen Wilden an Menschenaffen zu denken. Die „Ähnlichkeit" überzeugte ihn davon, es mit „Menschen" zu tun zu haben.

Es war die gleiche Ähnlichkeit, die vielen Menschen zur Zeit Darwins soviel Kopfzerbrechen bereitete und dem Mißverständnis Vorschub leistete, dieser große Biologe hätte den Menschen als in direkter Linie von einem Tier wie dem Schimpansen oder dem Gorilla abstammend verstanden. Darwins Feinden war die eigentliche Pointe seiner Theorie entgangen: Die Tatsache, daß der Mensch und der Schimpanse einander ähneln, bedeutet nicht, daß einer von dem anderen abstammt, sie legt aber die Vermutung nahe, daß beide gemeinsame Vorfahren haben.

Die heutigen Menschenaffen sind die nächsten Verwandten des Menschen, aber im Laufe der Evolution, vor Millionen von Jahren, ging die Entwicklung der beiden in verschiedene Richtungen. Dies hatte dann, wie wir noch sehen werden, alle Unterschiede zwischen dem Homo sapiens und Hannos „Wilden" zur Folge.



Ein Familienporträt vor dem Spiegel

Die Menschenartigen oder Hominoidea

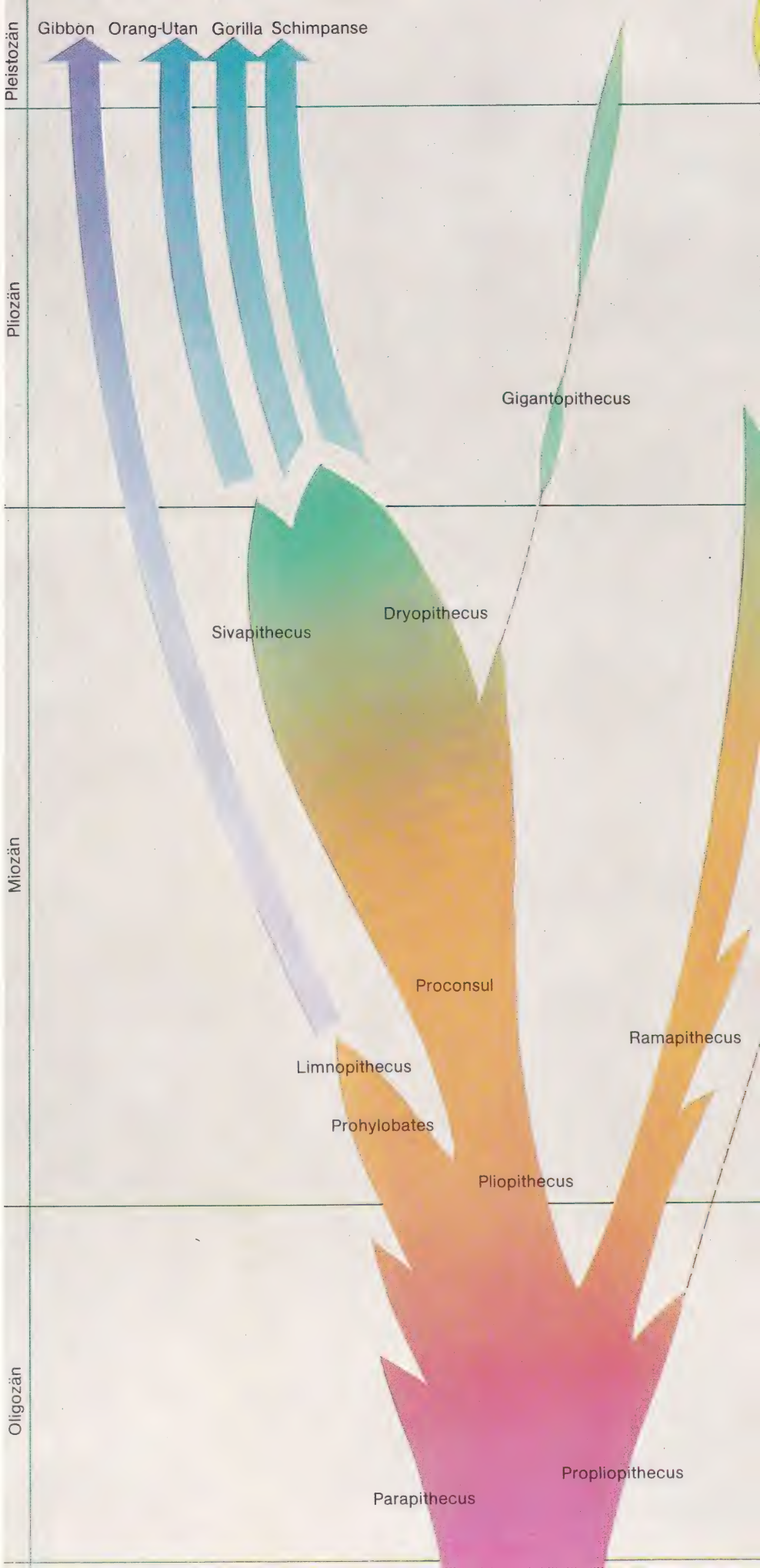
Der entwicklungsgeschichtliche Sprung von den nichtmenschlichen Primaten zu den Menschen – wenn es überhaupt ein Sprung gewesen ist – ist nicht so leicht zu fassen, wie es nach den letzten Kapiteln erscheinen mag. Die Geschichte der *Menschenartigen (Hominoidea)* reicht Millionen von Jahren zurück. In unserer Auseinandersetzung darüber müssen wir uns jetzt mit unserer zuvor aufgestellten Arbeitshypothese näher beschäftigen: daß nämlich die Fähigkeit zu denken sich zuerst in der Herstellung von Werkzeug ausgedrückt habe und infolgedessen die Entdeckung bzw. der Nachweis von Werkzeug im Vordergrund der Forschung stehen müsse.

Innerhalb der Gruppe der Hominoidea ist unsere Familie der *Hominiden (Hominidae,* Menschen im weiteren Sinne) relativ einfach und wohl begründet zu definieren. Wir müssen einen Stammbaum erstellen, der sowohl die heute bekannten Arten als auch die wahrscheinlich ausgestorbenen einschließt – genau wie bei jeder anderen Gruppe, von der mehrere lebende Arten bekannt sind. Diese Beschreibung ist auf alle verfügbaren Daten über die zu behandelnde Familie und auf die ihr verwandten Familien zu beziehen.

Im Falle unserer eigenen Familie ist das ganz einfach. Wir brauchen lediglich dem nützlichen Vorschlag des delphischen Orakels: „Erkenne Dich selbst!" zu folgen und uns vor einen Spiegel zu stellen. Allerdings könnte die sich ergebende Beschreibung zu selbstbezogen ausfallen. Daher ist es offenbar zweckmäßig, zuerst die Mitglieder einer Familie, die mit uns eng verwandt ist, zu studieren – Hannos „wilde Menschen", die Menschenaffen oder Pongidae, die uns so unähnlich und so ähnlich zugleich sind.

Unsere Beobachtungen über Schimpansen, Gorillas und Orang-Utans erleichtern es uns anzugeben, was der Mensch n i c h t ist. Auf diese Weise ersparen wir uns eine detaillierte Beschreibung, die als wissenschaftliches Instrument wenig erbrächte. Wir dürfen keinen Augenblick lang vergessen, daß wir bei der Erforschung unserer eigenen Evolutionsgeschichte vieles antreffen werden, das ziemlich menschenunähnlich ist.

Das Schwinghangeln (Brachiation) entwickelte sich wahrscheinlich unter den Hylobatidae eher als unter den anderen Affen. Heute glaubt man, daß diese Familie, zu der der rezente Gibbon gehört, mit dem Limnopithecus des Miozäns in Verbindung steht. Die Aufnahme zeigt einen Lar oder Weißhandgibbon.



Der Evolutionsprozeß, der zum Menschen führte. Der Evolutionszweig, der sich auf die Hominidenfamilie bezieht (rechts unten), erscheint in einem vergrößerten Ausschnitt, der den letzten zwei Millionen Jahren entspricht.

Oreopithecus

Schädel und Zähne

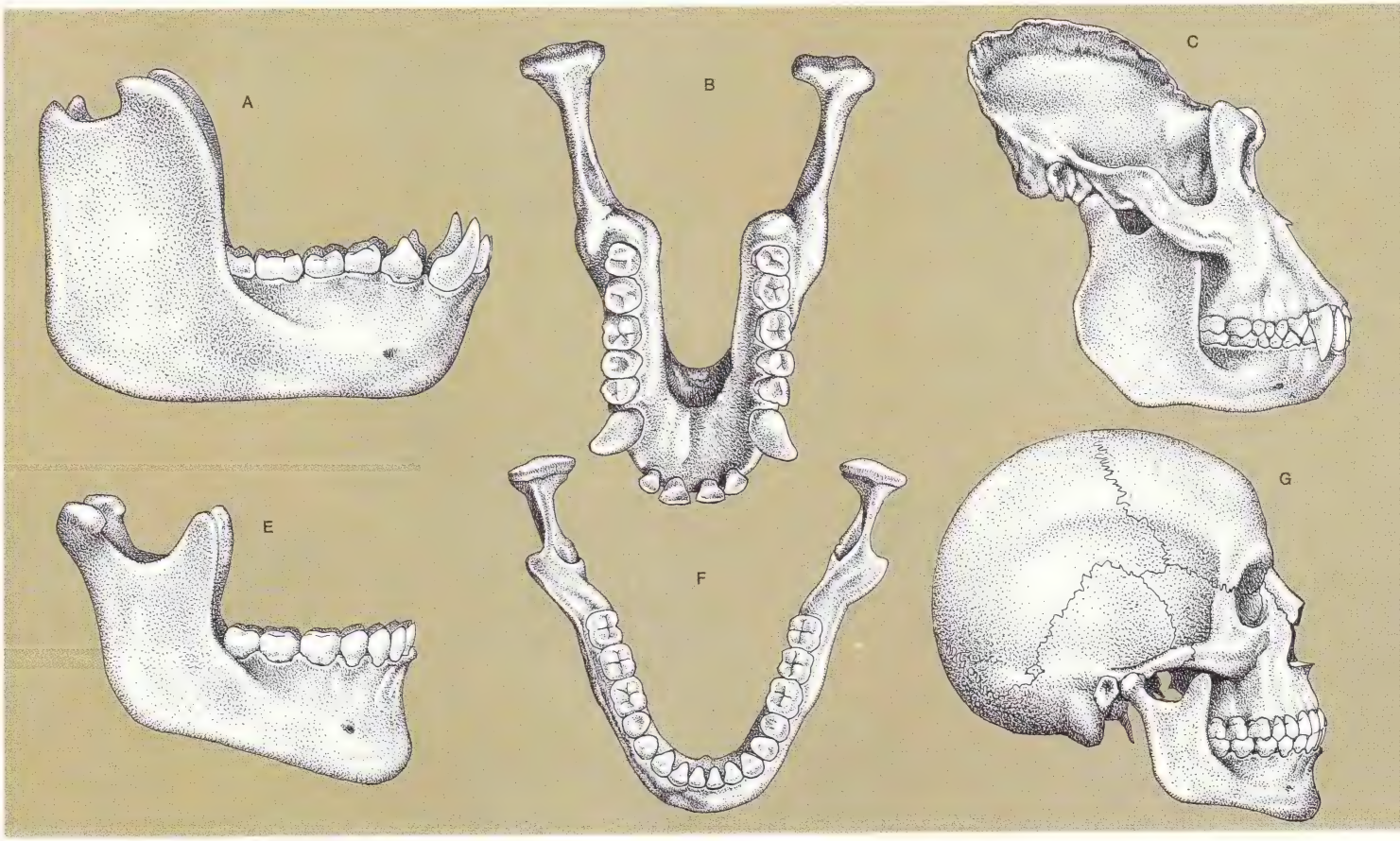
Schädelreste, besonders *Zähne,* werden öfter als alle anderen Knochenteile gefunden und identifiziert. Also wollen wir uns zuerst diesen anatomischen Strukturen zuwenden. Die Hominiden haben genau die gleiche Anzahl von Zähnen wie die Menschenaffen (Pongiden): In jeder Kieferhälfte sitzen zwei Schneidezähne, ein Eckzahn und fünf Backenzähne (zwei Prämolaren und drei Molaren). Der hinterste Backenzahn, der sog. Weisheitszahn, bricht manchmal überhaupt nicht durch.

Ein weiteres wichtiges Detail: Bei Menschenaffen findet sich immer eine Lücke im Zahnbogen für den Eckzahn des gegenüberliegenden Zahnbogens. Die Lücken werden *Diastema (Affenlücke)* genannt und sind auch bei anderen Tieren, z. B. Katzen und Hunden, zu finden.

Bei den Pongiden ist der Kiefer viel länger und schmaler als bei den Hominiden, außerdem haben ihre Backenzähne im allgemeinen Rinnen etwa von der Form eines fünfeckigen Sterns, während die Backenzähne des Menschen eine kreuzförmige Rinne aufweisen.

Die Hirnschale ist bei den Menschenaffen meist kleiner. Nach lebenden Exemplaren zu urteilen, kann man bei Menschenaffen ein Schädelfassungsvermögen (das dem Hirnvolumen entspricht) von etwa 400 cm^3 für Schimpansen und Orang-Utans und von etwa 500 cm^3 für die (größeren) Gorillas ansetzen.

Tatsächlich unterscheiden sich die heutigen Menschenaffen zu sehr vom Menschen, als daß dieser in direkter Linie von ihnen abstammen könnte. Das äußerste, was wir sagen können, ist, daß sie entfernte Verwandte sind, sozusagen in der Seitenlinie mit uns verwandt.

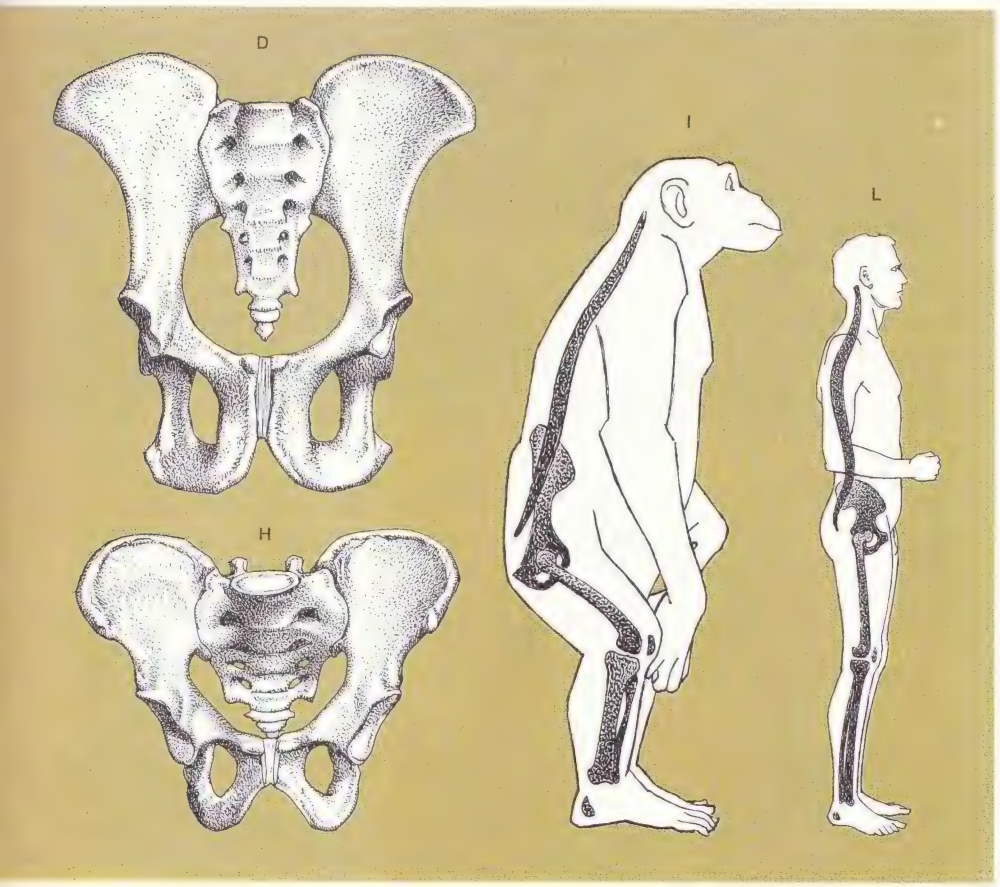


Andere Knochen

Auch andere Skeletteile weisen deutliche Unterschiede zwischen Hominiden und Pongiden auf. Das *Rückgrat,* sowohl beim heutigen Menschen als auch bei den früheren Hominiden, ist in S-Form gebogen, während es bei den Menschenaffen fast gerade ist. Die *Beckenknochen* sind bei Menschenaffen größer und bedingen eine etwas nach vorn gebeugte Haltung über den Oberschenkelknochen, so daß die Beine nicht so flexibel sind.

Ein weiterer Unterschied zeigt sich an den *Fußknochen.* Beim Menschen ist der Fuß tatsächlich ein Fuß, während er bei den Menschenaffen immer noch einer Hand ähnelt. Beim Menschen ist die erste Fußzehe nicht mehr opponierbar; außerdem ist die Hacke stark ausgeprägt, eine anatomische Eigenschaft, die in Hinsicht auf den charakteristischen Gang des Menschen von größter Bedeutung ist. Die Mittelfußknochen, die sich zwischen den Fußwurzelknochen und den Zehen befinden, sind beim Menschen enger zusammengesetzt als bei Menschenaffen.

Dies sind die Hauptmerkmale, auf die wir alle Fossilienfunde von Hominoidenherkunft untersuchen müssen, um sie der richtigen Familie zuzuordnen. In Wirklichkeit sind unsere Ergebnisse nicht ganz so schablonenhaft, wie wir sie gern haben möchten, da das erste Auftreten des Menschen sowohl im Wald als auch in der Savanne stattfand. Im Wald verlieren sich Knochen leicht zwischen Wurzeln und heruntergefallenen Ästen und werden schnell zersetzt. In der offenen Savanne können sie von tropischen Regengüssen weggeschwemmt, von der



Unterkiefer des Orang-Utans (A und B; von der Seite und von oben gesehen), Seitenansicht des Schädels eines Gorillas (C) und Becken eines Schimpansen (D), alles jeweils im Vergleich mit den entsprechenden Skeletteilen des Menschen (untere Reihe: E–H). – Ganz rechts: Vergleich (nicht maßstabsgerecht) der Lage der Wirbelsäule und der Beine beim Schimpansen und beim Menschen.

Sonne und der säurehaltigen Erde gebleicht und von Raubtieren angenagt werden.

Außerdem lebten natürlich die Vorfahren des heutigen Menschen ein ganz anderes Leben als die ausgestorbenen Meerestiere, Reptilien und Säugetiere, von denen wir so reichliche Fossilienbeweise besitzen. Sie durchstreiften das ganze Land auf der Suche nach Nahrung und später auch auf der Jagd – ganz anders als die Dinosaurier z. B., die an Flüssen und Sumpfgebieten entlang weideten, wo später ihre Gebeine in Schlamm und Treibsand gut erhalten blieben.

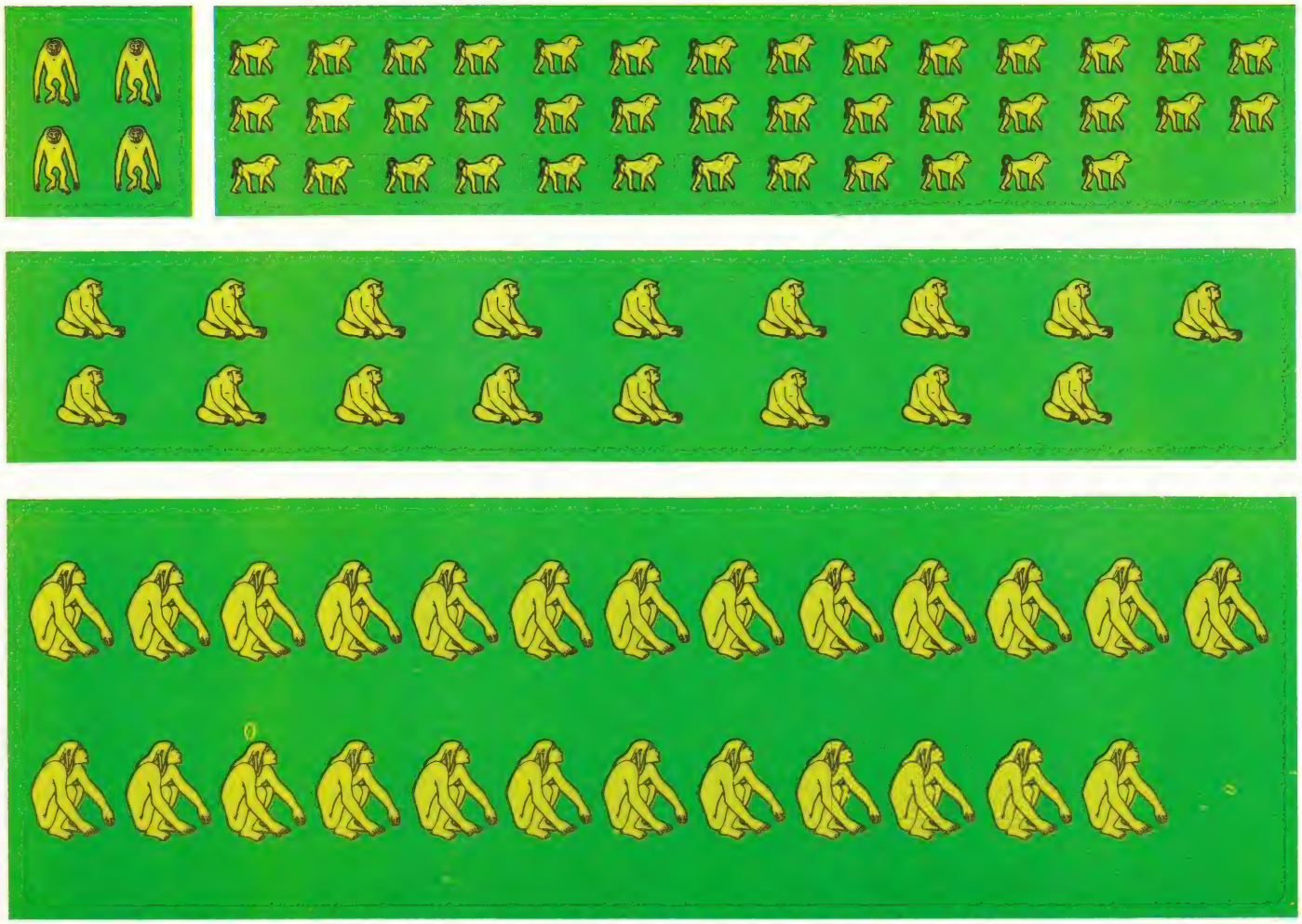
Bei ihrer Entdeckung befinden sich Fossilien der Hominidenvorfahren oft in einer derart kläglichen Verfassung, daß wir sie nur nach sorgfältigster Prüfung einer besonderen Familie oder Art zuordnen dürfen. In einigen Fällen sind die fossilen Überbleibsel von durchaus

Die Umgebung, in der sich die menschliche Evolution vollzog: Übergangszone zwischen Savanne und Waldgebiet am Fuß von Hügeln und Bergen.

unterschiedlicher Herkunft, aber sie sind nur mit Mühe voneinander zu scheiden und zu identifizieren, sofern nicht andere Indizien eine bestimmte Interpretation bestätigen oder rechtfertigen.

Schließlich haben wir auf einen letzten Punkt hinzuweisen: Knochenfunde aus frühesten Zeiten sind notwendigerweise selten, und die Fundorte liegen weit zerstreut auseinander, weil die Populationen oder Gruppen, zu denen sie gehörten, spärlich waren. Andererseits ist die Anzahl der Fossilienfunde, die auf das Vorkommen einer großen Anzahl von Gruppen mit unterschiedlichen Merkmalen hindeuten, verhältnismäßig groß.

Das Vorkommen dieser kleinen Gruppen oder Teilpopulationen förderte offenbar die Entwicklung bezeichnender Veränderungen. Je länger und totaler Populationen voneinander isoliert sind, desto ver-



Lebensraum verschiedener Primaten: 250 m² für eine Gibbonfamilie (meist aus vier Mitgliedern bestehend); 40 km² für eine Pavianherde (40 Mitglieder); 50 km² für eine Gorillaherde (17 Mitglieder); 1 300 bis 4 000 km² für eine Hominidengruppe (25 Mitglieder).

schiedener werden sie. Diese sehr unterschiedlichen Merkmale kennzeichnen eine beschleunigte Entwicklung. Also können wir sagen, daß die Entwicklung rapid voranschreitet, wenn sich eine größere Gesamtpopulation in kleine Teilpopulationen gliedert (durch Völkerwanderungen, geographische Barrieren und ähnliche Faktoren) und andererseits Vermischungen zwischen benachbarten oder wandernden Gruppen stattfinden.

Stark vereinfachend könnte man sagen, daß hier eine Wechselwirkung zwischen einander entgegengerichteten Kräften vorliegt. Die unterschiedlichen Elemente in Umwelt und Verhalten, die eine größere Population in kleinere Gruppen aufteilen, fördern Unterschiede in der Population. Aber Kontakte mit anderen Gruppen innerhalb eines dauernd sich verändernden Komplexes von Beziehungen stellen gleichwohl sicher, daß eine Reihe von typischen Merkmalen über die ganze Population verteilt wird: diejenigen charakteristischen Merkmale, ohne die die Systematik ihre Bezugspunkte und ihre innere Ordnung verlieren würde und ohne die andererseits die Gruppen die Fähigkeit verlieren würden, sich wechselnden Bedingungen anzupassen. Diese Entdekkung wird durch Untersuchungen bestätigt, welche sich mit den Lebensbedingungen vor- und frühgeschichtlicher Kulturen beschäftigen.

Die Anfänge: Ein Album voll fossiler Primaten

Bist du's oder bist du's nicht?

Viele volkstümliche Geschichten erzählen von einem Menschen, der unter ungewöhnlichen Bedingungen seine Heimat verläßt und erst Jahre später zurückkehrt. Wenn er dann die Dorfstraßen entlanggeht, erkennt er die meisten Menschen, denen er begegnet, entweder überhaupt nicht mehr, oder er erinnert sich nur dunkel an sie und findet sie ziemlich verändert. Spricht er sie an, antworten sie ihm nicht, weil sie ihn ebenfalls nicht mehr wiedererkennen.

Ähnlich ergeht es den Anthropologen, die in die weit zurückliegende Vergangenheit des Menschen „zurückkehren". Als erwachten sie aus einem endlos langen Schlaf, stellen sie jedem Lebewesen, dem sie begegnen, Fragen wie: „Bist du nicht der Affenmensch (oder der menschenähnliche Affe) dieser oder jener Periode?" Der Grund für ihre Unsicherheit liegt auf der Hand: Viele fossile Vorfahren, denen sie begegnen, weisen eine frappierende oberflächliche Ähnlichkeit mit anderen auf.

Die früheren Naturforscher gruppierten lebende Organismen nach einem hypothetischen Modell des „idealen" oder „typischen" Mitglieds einer Population. Man verglich Tiere mit dem Modell und beschrieb sie innerhalb gewisser Toleranzgrenzen. Tatsächlich gibt es keine einzige ideale Form; denn jedes Mitglied einer Population weicht von seinen Artgenossen in einem bestimmten Maße ab. Die Schwierigkeit besteht also darin, bestimmte charakteristische Merkmale, die in gleicher Weise von allen Mitgliedern einer Gruppe geteilt werden, zusammenzustellen. Dies ist zugleich eine Schwierigkeit und ein Verfahrenstrick.

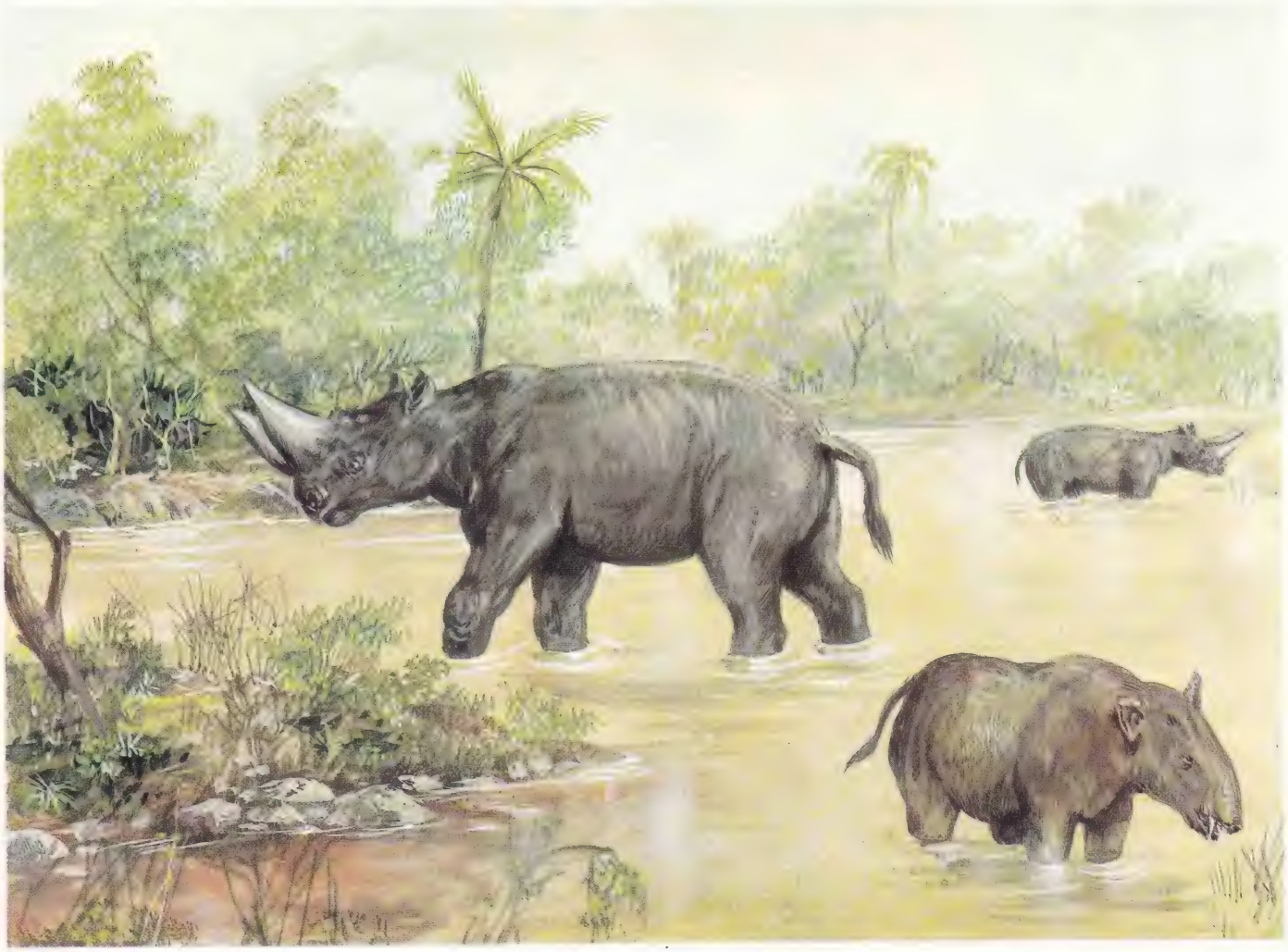
Die ersten Fossilienjäger und -forscher besaßen nur wenige für einen Vergleich nützliche Exemplare. Noch heute besitzen wir konkrete Fossilienzeugnisse über den Menschen und seine Vorfahren nur in begrenzter Anzahl. Für einzelne Bereiche ist sogar der Vorrat frustrierend uneinheitlich. Dennoch hat die Anzahl der Funde in einigen Gegenden (wie Afrika) bis hin zu erregenden neuen Entdeckungen eklatant zugenommen. Außerdem entwickeln die Wissenschaftler immer neue Techniken der Klassifizierung hinsichtlich Fundort und Ablagerungszeit, die manchen Mangel ausgleichen.

Die ersten Primaten

Der früheste bekannte Kandidat, der für eine Einordnung als Primat in Frage kommt, ist vielleicht der *Purgatorius ceratops,* der jüngst in Montana entdeckt wurde. Eigentlich wurden nur einige Zähne dieses Tieres gefunden, aber man vermutet, daß es nicht viel größer als eine Ratte war und daß es zur Zeit der letzten großen Dinosaurier sein Leben in Angst und Bangen zugebracht hat. Wenn dieses Lebewesen wirklich ein Primat war – manche werden dies allerdings energisch bestreiten –, dann könnten wir die Anfänge der Primatengeschichte in das ausgehende Zeitalter der Reptilien vor mehr als 70 Millionen Jahren zurückverlegen.

Etwas überzeugendere Kandidaten für die Position der ersten Urprimaten erscheinen im Paleozän, vor 60 bis 55 Millionen Jahren. Zu dieser Zeit waren die Dinosaurier bereits verschwunden. Es gab damals ungeheuer weit ausgedehnte Waldgebiete, die sich, vom Äquator aus gesehen, sehr viel weiter nach Norden und Süden erstreckten als heute. Zwischen den Bäumen dieser Wälder bewegten sich kleine, rattenähnliche Lebewesen, die nicht größer als eine Hauskatze waren und sich von Früchten, Insekten und Vogeleiern ernährten. Diese kleinen Halbaffen ähnelten vermutlich den heutigen Lemuren. Ihre fossilen Überreste aus

Die Senke von Al Faijum in Ägypten während des Oligozäns. Es gab Wälder, in denen sich nach Meinung der Fachleute die ersten Phasen jenes Entwicklungsprozesses entfalteten, der schließlich im Menschen gipfelte. Die Wälder wechselten mit Sümpfen. Im Sumpf sind zwei Vertreter der Gattung Arsinoitherium und ein primitives Rüsseltier der Gattung Moeritherium dargestellt.



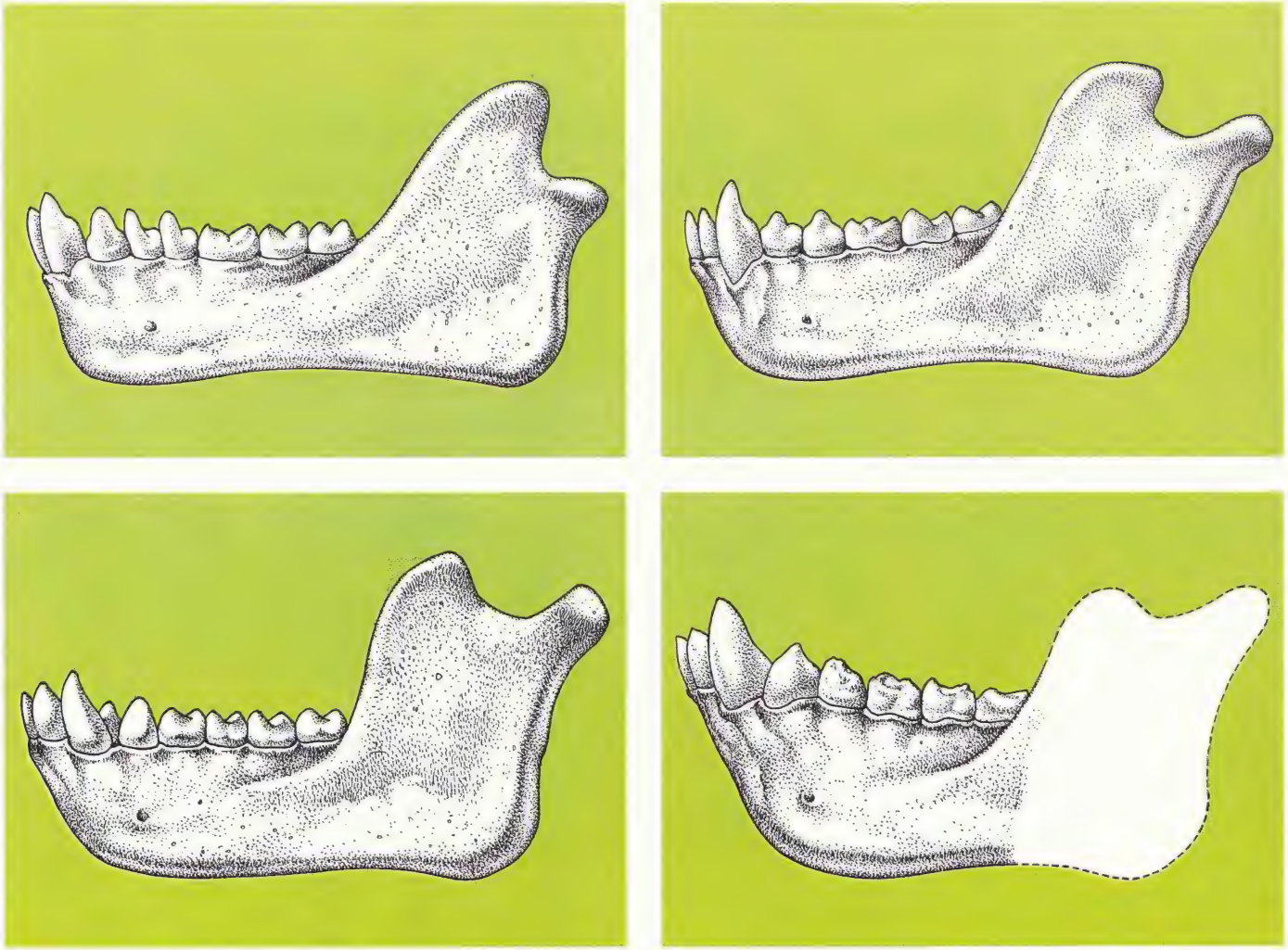
der Gattung *Plesiadapis* wurden sowohl in Frankreich als auch in den USA gefunden.

Wie bei allen fossilen Primaten dieser Epoche waren die Finger von Plesiadapis eher mit abgeflachten Krallen als mit Nägeln versehen, etwa wie die Krallen des Spitzhörnchens, das heute in Südostasien beheimatet ist. Die Vorderzähne von Plesiadapis waren groß und standen fast waagrecht nach außen wie bei rezenten Lemuren.

Diese Paleozänfossilien sind vielleicht gerade noch als Primaten zu bezeichnen. Erst in der nächsten Periode jedoch finden wir Fossilien, die, wie ein Anthropologe es formulierte, „unverkennbare und unbestrittene Primaten" sind.

Die Wege trennen sich

Die ältesten uns bekannten Tierarten, die die Vorfahren sowohl des Menschen als auch der Menschenaffen gewesen sein könnten, wurden im Becken von *Al Faijum* am Rand der Sahara in Ägypten entdeckt. Heute ein Wüstenbecken, war dieses Gebiet vor 30 Millionen Jahren im Oligozän größtenteils Sumpfland – an der Grenze zwischen Meer und Wald. Seit dem Anfang dieses Jahrhunderts sind dort mehrere hundert



Der Unterkiefer von vier Primaten des Tertiärs; von links nach rechts: Parapithecus, Propliopithecus, Pliopithecus, Dryopithecus. Keiner der vier weist eine Affenlücke (Diastema), d. h. eine Lücke zwischen dem Eckzahn und den Prämolaren im Zahnbogen, auf, wie sie für Schimpansen, Gorillas, Orang-Utans und Gibbons charakteristisch sind. Drei Prämolaren sind charakteristisch für den Parapithecus.

Primatenfossilien ans Licht gekommen. Im Unterschied zu den vielen kleinen Halbaffen, die für jene Zeit charakteristisch sind, sind diese etwa katzengroßen Tiere durch eine Reihe von Merkmalen (besonders die Zähne) gekennzeichnet, die sie eng mit den heutigen Altweltaffen verbinden.

Anfang der 60er Jahre unseres Jahrhunderts wurden Fragmente einer anderen Tiergruppe, *Propliopithecus,* im Becken von Al Faijum zutage gebracht, deren Backenzähne fünf Höcker aufwiesen, die in einem für Menschen und Menschenaffen charakteristischen Muster angeordnet waren. Später, im Jahre 1966, fand man den Schädel von *Aegyptopithecus,* der ein fast vollständiges Gebiß mit affenartigen Zähnen aufwies. Auch der Schädel selbst war eher affenartig.

Zehn Millionen Jahre später, im Miozän, und auch in der darauffolgenden Epoche, dem Pliozän, kommen wir dem Urmenschen näher. In diesen Epochen breiteten sich die Affen und Menschenaffen immer weiter aus. Hominoidenfossilien aus dem Miozän und dem Pliozän wurden in Europa (Spanien, Mitteleuropa), Asien (Indien, China) und Afrika (Kenia) gefunden. Manche Experten behaupten heute, es befände sich unter ihnen der älteste Vorfahr des Menschen in einer direkten Abstammungslinie, der *Ramapithecus.* Dennoch vergingen zunächst Jahrzehnte des Streits und der Verwirrung, ehe der Ramapithecus als ein möglicher Kandidat von vielen ernsthaft in Betracht gezogen wurde.

Die Dryopithecinae

Mittelpunkt des Streits und der Verwirrung waren die *Dryopithecinae,* eine Gruppe affenähnlicher Tiere, von denen sowohl Menschen als auch Menschenaffen abstammten. Die Hauptfragen waren: Welche von ihnen zweigten sich ab und folgten einer Entwicklungsrichtung, die zu den Menschenaffen führte? Welche, wenn überhaupt, entwickelten sich in Richtung auf den heutigen Menschen?

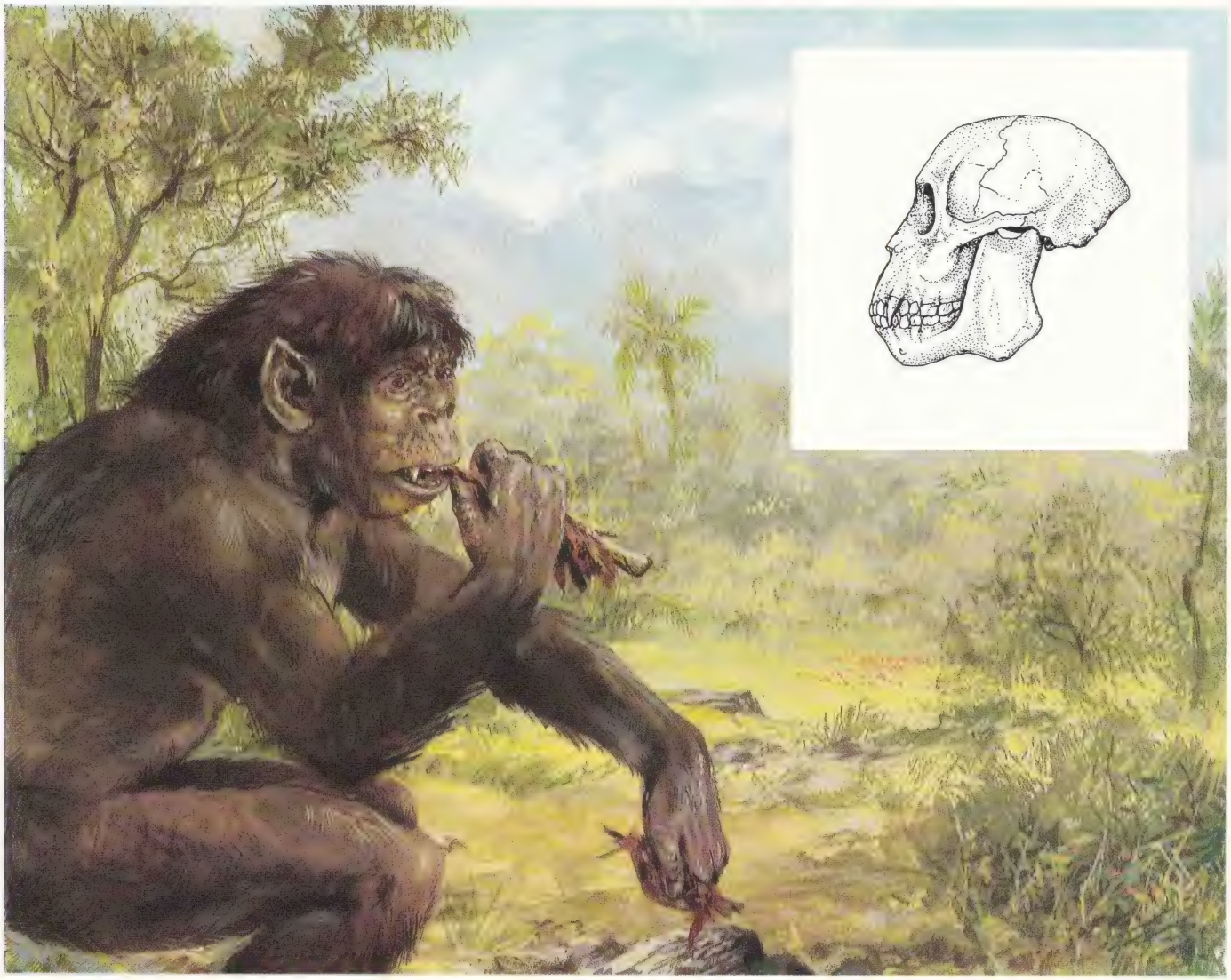
Vor 20 Millionen Jahren war *Dryopithecus* oder der „Waldaffe" sowohl in Europa als auch in Afrika, Indien und China weit verbreitet. Man schätzt, daß es Hunderte von Fossilien gibt, die zu dieser Gruppe gerechnet werden können. Manche wurden schon in den späten 1850er Jahren entdeckt. Alle sind unvollständig und bestehen vorwiegend aus Zähnen und Kieferfragmenten. Da kein Wissenschaftler sie jemals alle beisammen sah und da die Funde in bezug auf Fundstelle und Fundzeit weit auseinanderlagen, wurden fast alle verschiedenen Gattungen bzw. Arten zugeordnet. Infolgedessen erkannte man die Dryopithecinae nicht als mögliche Vorfahren der großen Menschenaffen und des Menschen in der direkten Abstammungslinie oder ging einfach darüber hinweg, und ihre Fossilien verschwanden in den Museumsschubladen.

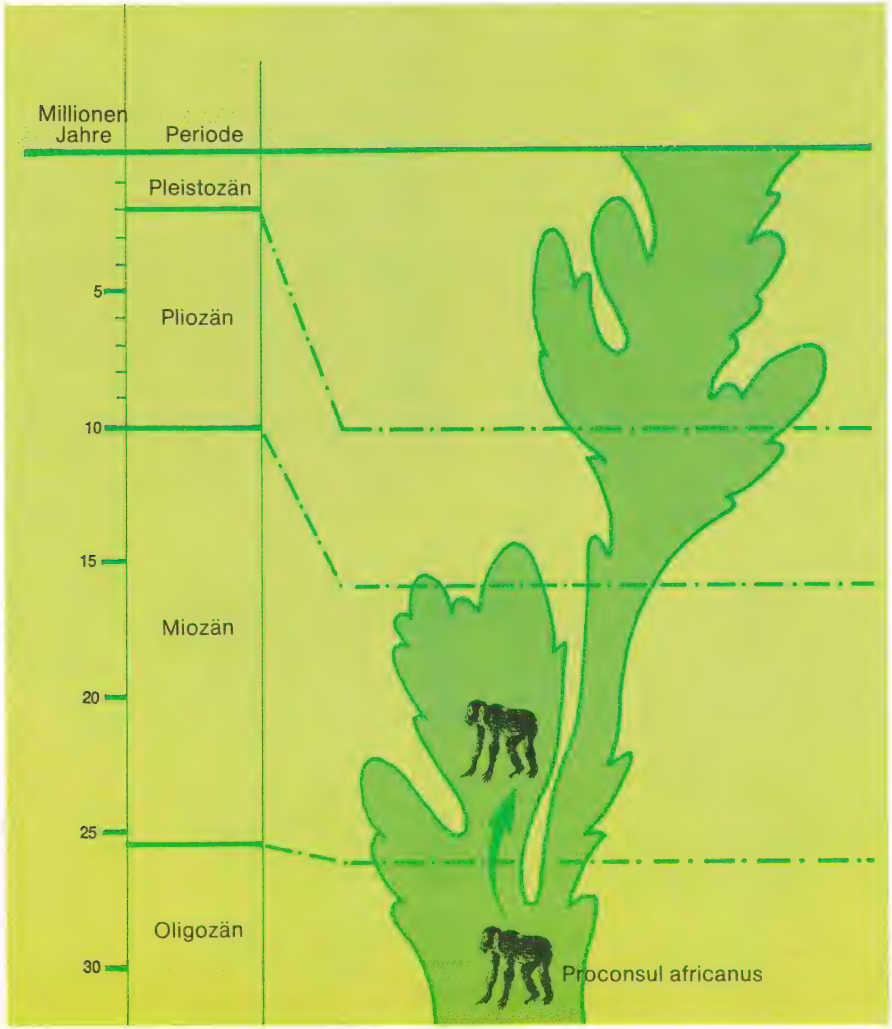
Seit den 30er Jahren unseres Jahrhunderts und besonders in den letzten zehn Jahren hat sich dies geändert. Es gab einige neue Funde, und außerdem waren da einige besonders scharfsinnige und hartnäckige Forscher, die sich mit ihnen auseinandersetzten. Das Ergebnis war, daß sich ein deutlicheres Bild von der Bedeutung dieser Fossilien herausschälte. Die neue Einschätzung und Auswertung dieser Hominoidenüberbleibsel aus dem Miozän/Pliozän ist noch in vollem Gange, und das komplizierte Rätsel, wie diese frustrierend fragmentarischen Funde miteinander zusammenhängen, wird noch weiter erforscht. Man hat zwar bereits Lösungen und Antworten gefunden; die Ergebnisse können sich jedoch jederzeit ändern, was auch immer wieder der Fall ist.

Wie aber bereits angedeutet, scheint es jetzt zumindest klar zu sein, daß sich unter diesen Funden die ältesten bekannten Vorfahren in direkter Abstammungslinie sowohl der großen Menschenaffen als auch des Menschen selbst befinden. Die Sache sieht folgendermaßen aus: Wir haben eine Menge Fossilien vor uns, meist Kiefer und Zähne, die von Hominoiden stammen, die vorwiegend Menschenaffen ähnelten. All diese Fossilien wurden einer fossilen Unterfamilie der Pongiden zugeordnet, die man als Dryopithecinae bezeichnet.

Typisch für die Verwirrung, die die Dryopithecinae verursacht haben, ist der *Proconsul.* Dieses ausgestorbene Lebewesen wird durch eine große Gruppe von Fossilien repräsentiert, die in Kenia und Uganda ausgegraben wurden, zum großen Teil von dem britischen Paläoanthropologen Louis *Leakey* (1903–1972). Das erste Fossil fand man 1931 auf einer Insel im Viktoriasee. Es war ein sehr ambivalentes Fossil, dadurch daß es einerseits eine enge Verwandtschaft mit dem Schimpansen aufwies, andererseits aber auch eine Anzahl von Merkmalen nichtpongi-

Rekonstruktion eines Proconsul africanus; der Schädel ist daneben abgebildet.





Proconsul africanus wurde zunächst für eine zwischen Pongiden und Hominiden stehende Form gehalten, ehe man ihn am Stammbaum der Primaten in Richtung Große Menschenaffen ansiedelte.

der Affen besaß. Was jedoch die Anthropologen wirklich aufhorchen ließ, waren indes gewisse Merkmale an Gesicht, Kiefer und Zähnen, die auf einen Menschen hindeuteten.

Könnte dies der gemeinsame Stammvater sein, von dem Darwin vorausgesagt hatte, daß er vielleicht in Afrika zu suchen wäre? Bis vor kurzem betrachtete man die Proconsulgruppe als den menschlichen Vorfahren nahestehend. Aber David Pilbeam, der zusammen mit Elwyn Simons und anderen Wissenschaftlern von der Yale University an der Klärung dieser Frage maßgeblich beteiligt war, hält dies jetzt für ziemlich ausgeschlossen.

Wir wollen uns jetzt der zweiten (viel kleineren) Fossiliengruppe zuwenden, die eine Gruppe Hominiden repräsentiert, die sich wahrscheinlich während des Miozäns von der Dryopithecinaelinie trennte und im Pliozän schon vollkommen selbständig war. Diese Fossilien – einige Zähne, Kieferfragmente und ein Gaumen – werden heutzutage auf die Gattung *Ramapithecus* zurückgeführt. Bis heute der früheste menschenähnliche Primat, hat Ramapithecus den stärksten Anspruch darauf, als ältester der menschlichen Ahnen zu gelten, und zwar in einer direkten Abstammungslinie.

Rekonstruktion des Oreopithecus bambolii, einer ausgestorbenen Hominidenart (links). Rechts der Unterkiefer dieses Primaten im Vergleich zum Unterkiefer eines Homo sapiens.

Tatsächlich wurde die wahre Natur von Ramapithecus schon 1934 von einem seiner Entdecker vermutet. Damals unternahm G. Edward Lewis, ein graduierter Mitarbeiter der Yale University, eine Forschungsreise in das *Siwalikgebirge* in Nordwestindien auf der Suche nach Primatenfossilien. Er fand Knochenteile von Ober- und Unterkiefern, die ihm einigermaßen menschenartig vorkamen. Da aber die Fragmente des Oberkiefers nicht so recht zu den Fragmenten des Unterkiefers paßten, ordnete er die Oberkieferfragmente der Gattung *Ramapithecus* und die Unterkieferfragmente einer eigenen Gattung *Bramapithecus* zu.

Ein weiteres Bruchstück eines Ramapithecusoberkiefers war bereits 1915 in Indien gefunden worden, ohne daß es jedoch als hominid erkannt worden wäre; man hatte es den Menschenaffen zugeschrieben. In den späten 50er Jahren fanden Louis und Mary Leakey noch einen weiteren Oberkiefer in Afrika, der schließlich als Ramapithecus bezeichnet wurde. Statt zweier Gattungen gibt es nun eine: Ramapithecus, ein glaubhafter Vorfahr, 14 Millionen Jahre alt, sowohl für Australopithecus als auch für die Gattung Homo, die beide in der nächsten Epoche (im Pleistozän) bzw. im nächsten Kapitel ihren Auftritt haben werden.

Die Menschenaffen des Südens

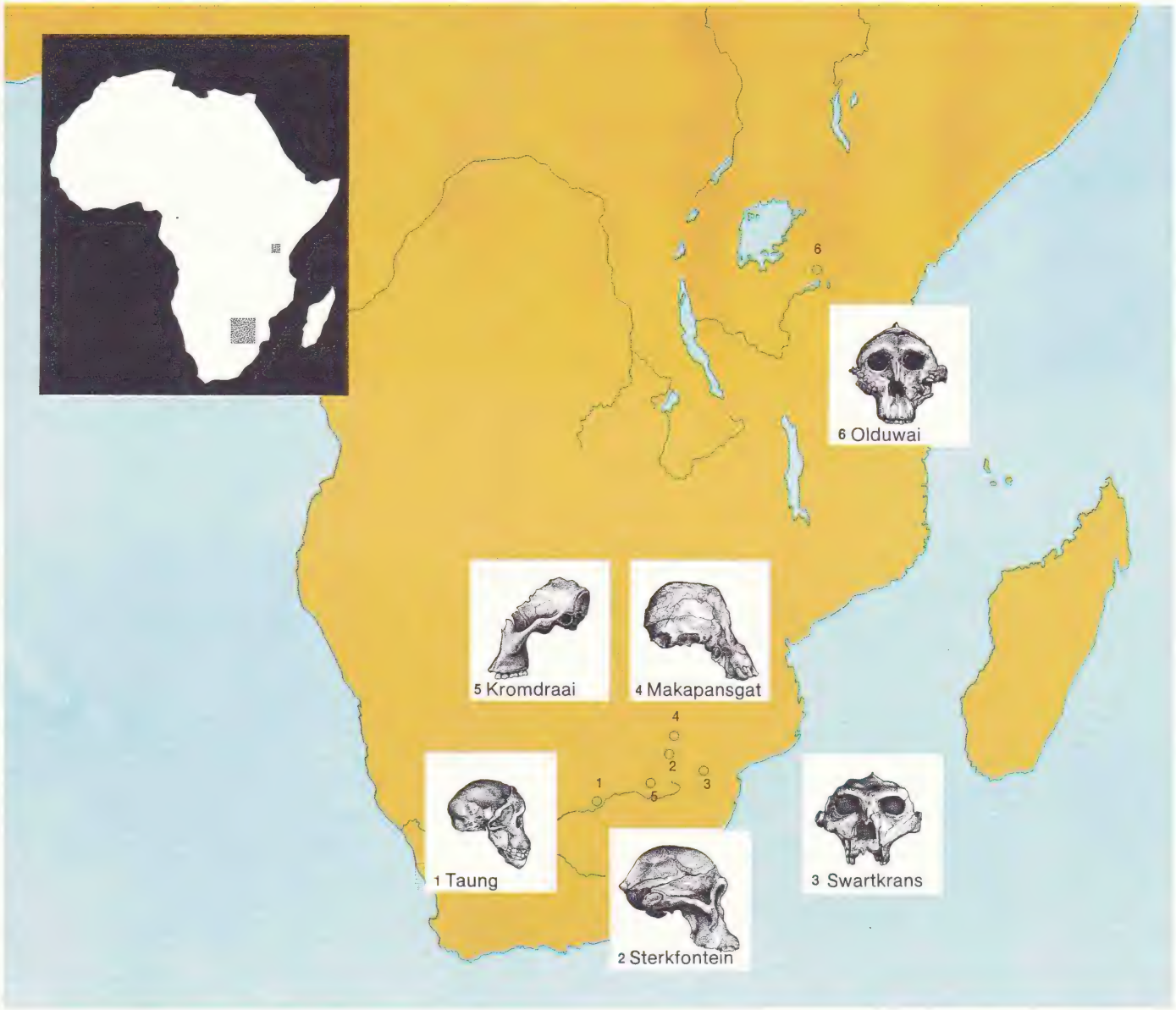
Die Wiege des Menschen stand in Afrika

Im Jahre 1924 fand man in der Nähe des südafrikanischen Ortes *Taung,* entlang der Grenze zwischen dem Transvaal und dem heutigen Botswana, einen sehr kleinen „hominoiden" Schädel. Als der australische Anthropologe Arthur Raymond Dart von der Universität in Johannesburg ihn untersuchte, stellte er kaum affenähnliche Merkmale fest. Die vorgewölbte Stirn, die Struktur und Anordnung der Zähne (ohne Affenlücke, aber mit einer sternförmigen Einbuchtung auf der Kaufläche der Backenzähne), die gewölbte Schädeldecke, die Lage des Foramen occipitale magnum (die Öffnung an der Schädelbasis, durch die das verlängerte Mark zum Gehirn führt): alle diese Merkmale kennzeichnen den Menschen. Nur die Größe war die eines Affen. Dart brauchte nicht lange, um dieses Rätsel zu lösen. Er schrieb den Schädel einem etwa sechsjährigen Kind zu. Damit begründete er die Hominidengattung *Australopithecus.* Das beschriebene Exemplar wurde als Vertreter der Art *Australopithecus africanus* bezeichnet.

Andere spätere Funde ermöglichten eine zufriedenstellende Rekonstruktion des Australopithecus. Immer mehr Beweismaterial wurde in Afrika ans Licht gebracht. Dieser Kontinent schien die Bühne zu sein, auf der die jüngste Phase in der Entwicklung des Menschen stattgefunden hatte. Die Hauptfundorte sind *Sterkfontein, Swartkrans* und *Makapansgat* im Transvaal. Fossile Überreste, die bei Swartkrans freigelegt wurden, schrieb man zuerst gewisser Merkmale wegen einer anderen Gattung zu – dem *Paranthropus* („Fastmenschen"). Heute wird der Swartkranshominid zusammen mit einem weiteren Exemplar, das ebenfalls im Transvaal bei Kromdraai gefunden wurde, der Gattung Australopithecus zugeordnet und ist als *Australopithecus robustus* bekannt.

In der *Olduwaischlucht* in Tansania entdeckte Leakey die fossilen Reste eines Hominiden, der dem aus Swartkrans ähnelte, und schlug vor, ihn *Zinjanthropus* zu nennen (nach „Zinj", dem alten ägyptischen Namen für Ostafrika). Heute wird Leakeys Fund der Art Australopithecus robustus zugeordnet. Zusammen mit diesem Australopithecusexemplar fand Leakey auch einige bearbeitete, abgeschlagene Kieselsteine und

Die Olduwaischlucht in Tansania.



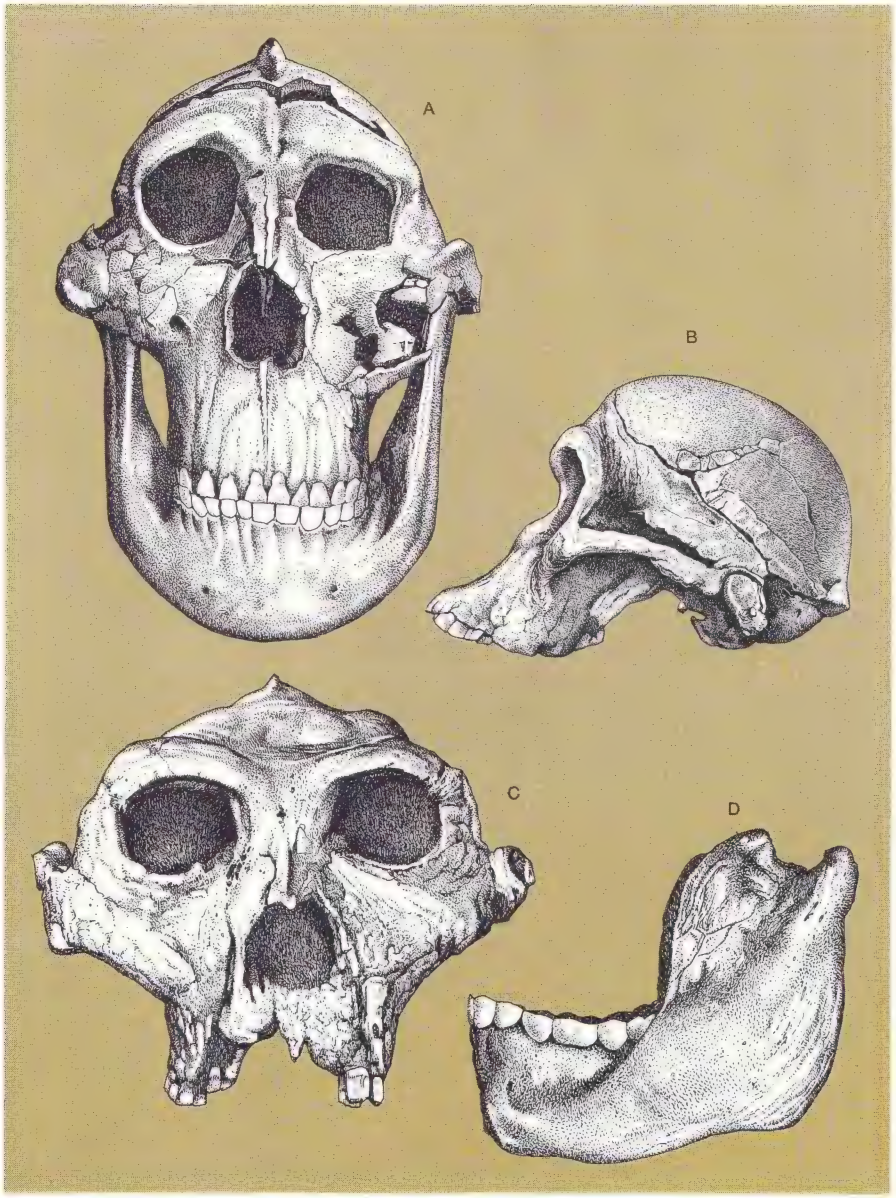
Orte in Süd- und Ostafrika, bei denen Fossilien gefunden wurden, die eine Beschreibung der verschiedenen Arten der Gattung Australopithecus ermöglichten. Die bekannten Fundorte sind durch Kreise gekennzeichnet.

einige Bruchstücke von Tierknochen, die wahrscheinlich aufgebrochen wurden, um das Mark, das sie enthielten, herauszuholen.

Auf der Basis der Arbeitshypothese, die wir am Anfang dieses Bandes dargelegt haben, kann man sagen, daß mit diesen Entdeckungen der heutige Mensch sich zum ersten Mal mit Fossilienexemplaren konfrontiert sah, auf die die Bezeichnung „menschlich" angewandt werden konnte.

Grazile und robuste Vertreter

Die Ausgrabungen in der Olduwaischlucht lieferten Beweismaterial, das darauf hindeutete, daß das Leben von Australopithecus ziemlich aufregend gewesen sein muß. Im Jahre 1960 entdeckte Leakeys Sohn Jonathan in denselben Schichtungen, in denen der Primat gelegen hatte, die Knochen eines Säbelzahntigers. Allem Anschein nach war



A Schädel des Australopithecus Typ P (Zinjanthropus) aus der Olduwaischlucht, hier verbunden mit einem Kiefer, der beim Natronsee unweit des Ngorongorokraters entdeckt wurde. – B Schädel von Sterkfontein. – C und D Schädel und einer der Kieferknochen von Swartkrans (Typ P).

dieses wilde Tier getötet worden. Jonathan Leakey fand auch einige grob bearbeitete Feuersteine und hominide Knochenfragmente, die weiterentwickelt waren als die des Zinjanthropus.

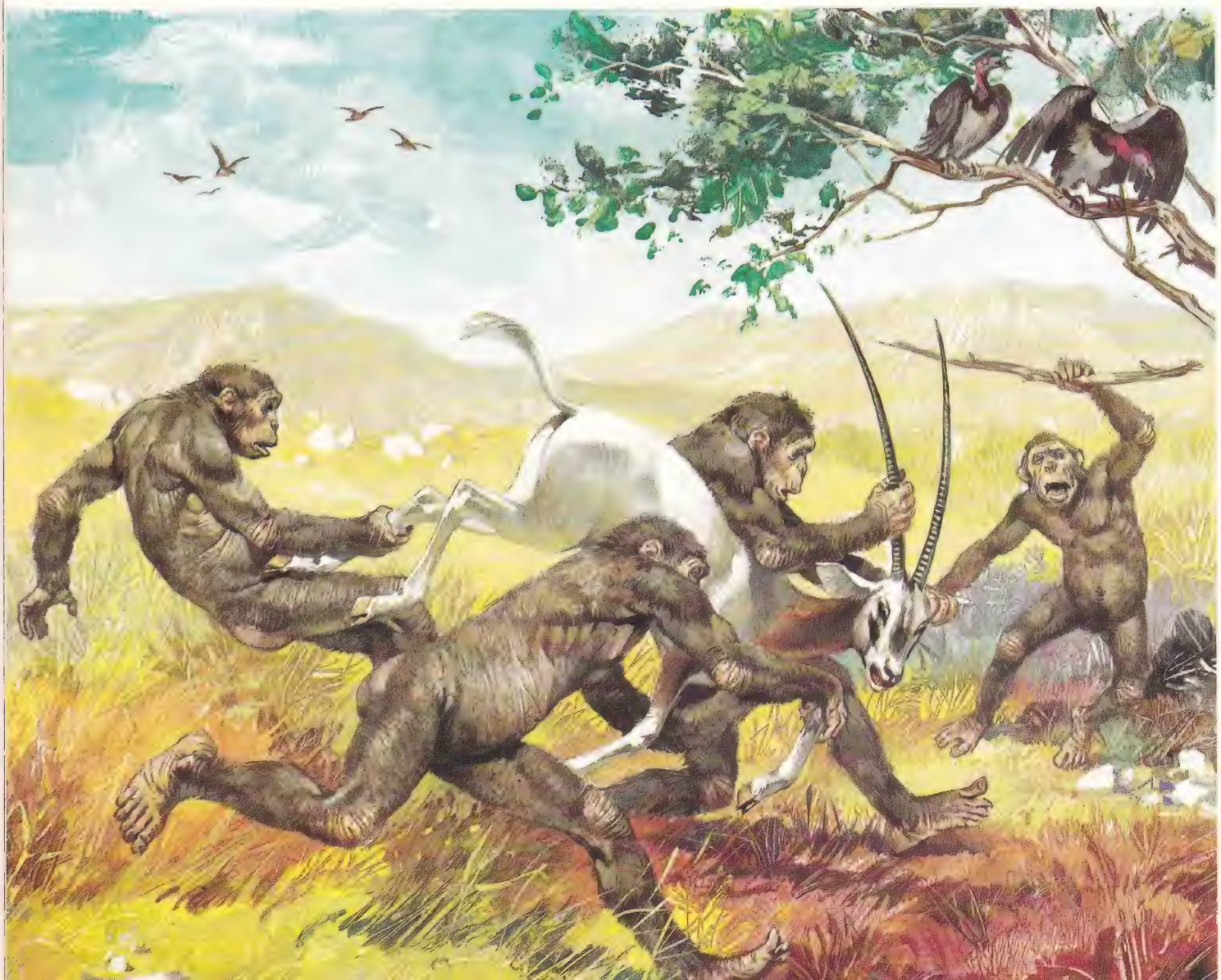
Im Augenblick wollen wir uns nicht weiter mit der hypothetischen manuellen Geschicklichkeit dieser „Menschen", Gegenstände herzustellen, beschäftigen. Dank diesem Fund werden jedoch die Umrisse der Gattung Australopithecus zunehmend klarer.

Die beiden Arten Australopithecus africanus und Australopithecus robustus, die zu Ehren Raymond Darts auch als *Dart-Hominiden* bezeichnet werden, stellen zwei extreme Typen derselben Art da und waren wahrscheinlich Zeitgenossen. Heute werden sie gewöhnlich als Typ A (Africanus) und Typ P (Robustus) klassifiziert. Ihre physischen Merkmale sind sehr unterschiedlich. *Typ A* war grazil gebaut, vielleicht etwas unter 1,20 m groß und hatte wenig spezialisierte Zähne. Er war

wahrscheinlich ein Fleischfresser und jagte die kleinen Tiere der Savanne. Vielleicht ernährte er sich auch von Aas, wenn es ihm gelang, die großen Raubkatzen von ihrer Beute zu vertreiben.

Der *Typ P* war robuster, hatte eine kräftigere Muskelstruktur und war auch etwas größer, fast 1,50 m. Was seine Zähne betrifft, waren die Backenzähne – Molaren und Prämolaren – sehr groß, die Vorderzähne dagegen recht klein. Der Kiefer war derb und massig. Wahrscheinlich war dieser Australopithecustyp vorwiegend Pflanzenfresser, der als solcher natürlich große Mahlzähne benötigte. Das auffallendste Merkmal an seinem Schädel ist der knöcherne Scheitelkamm (Crista sagittalis), der auf eine solche Spezialisation hindeutet: Um den schweren Kiefer zu bewegen und Wurzeln, Knollen und Blätter richtig zu zerkauen, benötigte dieser Hominid eine starke Kaumuskulatur, wie sie durch das Vorhandensein des Scheitelkamms, der sich von der Stirn bis zum Hinterkopf über den ganzen Schädel erstreckte, impliziert wird. Vielleicht wurde der Schädel durch diese Muskelbinden auf irgendeine Art „verkleinert", da das Schädelfassungsvermögen von Typ P kleiner als das von Typ A war. Bei beiden Typen schwankt das Fassungsvermögen zwischen 450 und 750 cm^3 mit einem Durchschnitt von rund 500 cm^3 bei Typ A.

Der Australopithecus vom Typ A war ein Fleischfresser (Raubtier) und lebte vorwiegend auf dem Erdboden.

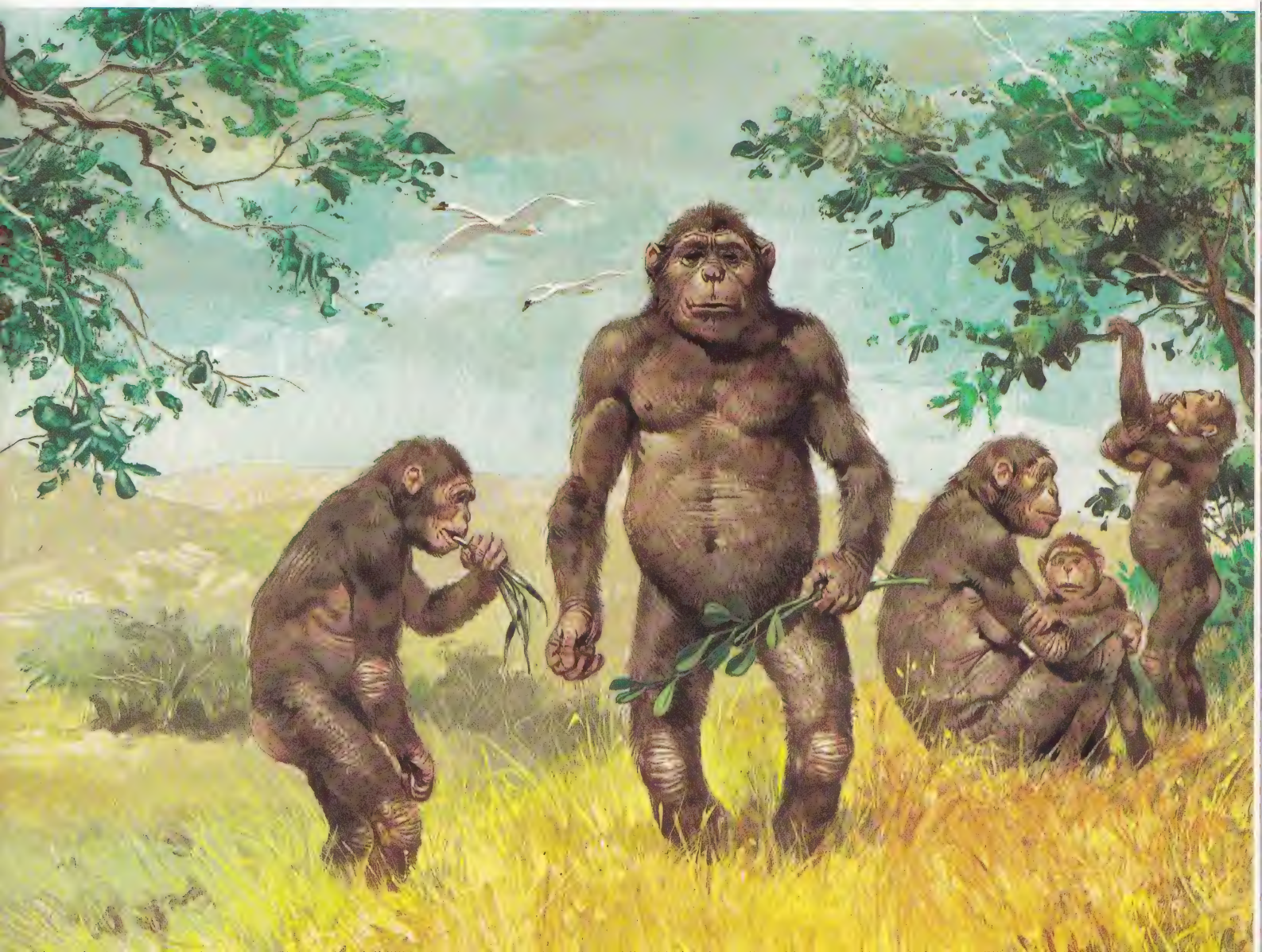


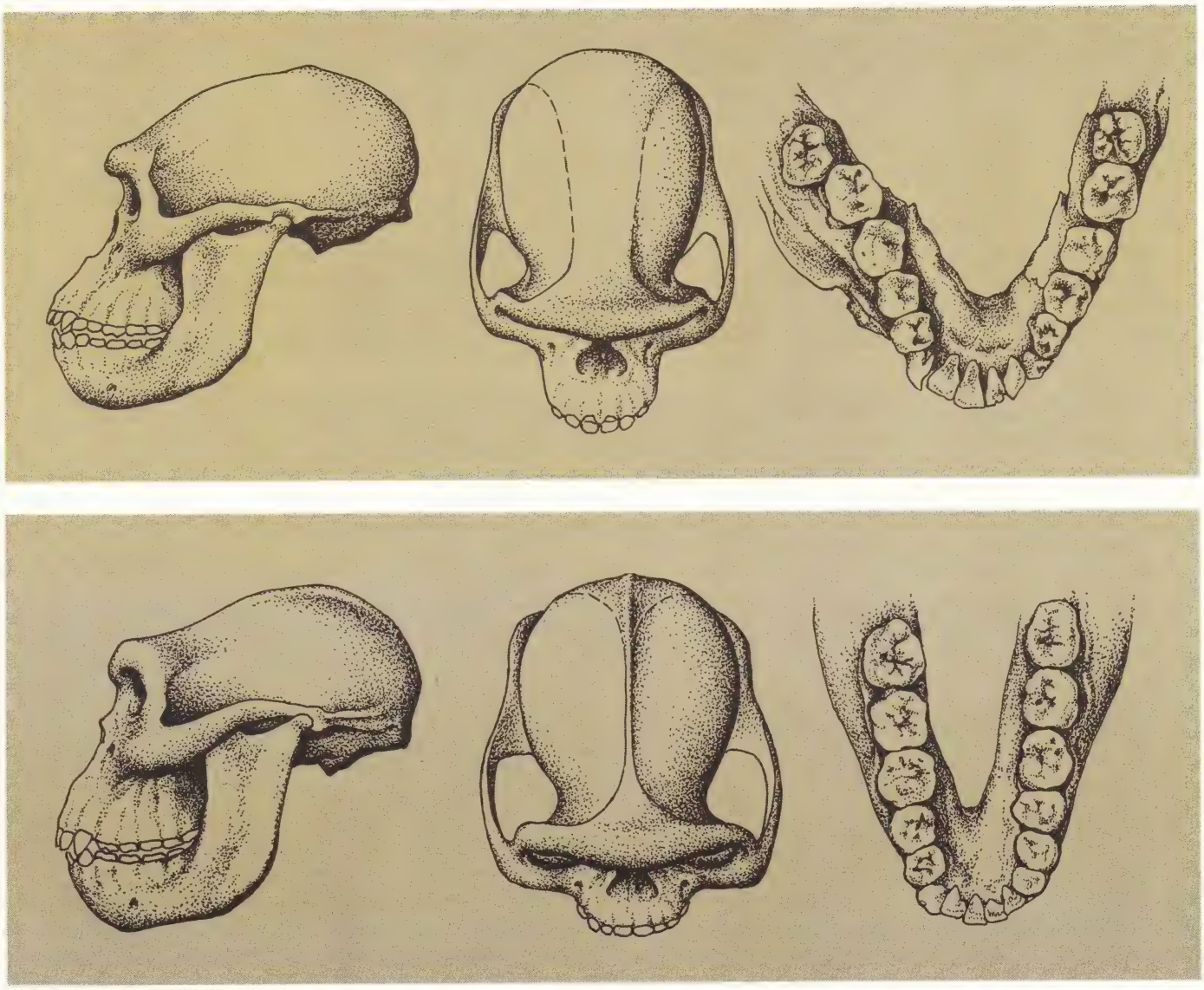
Die Gattung Australopithecus überdauerte eine ziemlich lange Zeitspanne, von vor zweieinhalb Millionen Jahren bis vor einer Million Jahren. Wie wir noch sehen werden, waren nicht nur Typ A und Typ P Zeitgenossen. Heute scheint es fast sicher, daß es zur selben Zeit noch andere, weiterentwickelte Gruppen gab. Die „Menschenaffen des Südens", wie Dart sie nannte, waren vielleicht Zeugen und sogar Mitspieler in dem entscheidenden Drama, das mit dem Auftritt des Menschen endete.

Vielleicht können wir sagen, daß in dieser langen Zeitspanne (die in Relation zu den riesigen Dimensionen geologischer Zeiträume gleichwohl als „kurz" bezeichnet werden muß) bereits eine menschliche Wesensart existierte, die jedoch noch nicht die endgültige Form angenommen hatte, die wir im eigentlichen Sinne als „menschlich" bezeichnen würden.

In einem früheren Band dieser Serie haben wir bei der Diskussion über die Ursprünge des Lebens angedeutet, daß in den Urgewässern vielleicht unbeschränkte Möglichkeiten des Lebens existiert hätten – so als hätte das Leben selbst existiert, bevor igendetwas, das wir „lebend" nennen würden, erschien. Ganz ähnlich scheinen die Dinge hier zu liegen. Wir nähern uns jetzt allmählich dem Höhepunkt dieses langen

Der Australopithecus vom Typ P war ein Pflanzenfresser.





Schädel und Kiefer von Australopithecus; oben Typ A, unten Typ P.

Evolutionsprozesses, der schließlich im Auftauchen des Menschen gipfelte.

Erinnern wir uns unserer Arbeitshypothese in Verbindung mit der Gleichung Intelligenz = Werkzeuge. Es bedarf keiner besonderen Anstrengung, sich die letzten der Australopithecuspopulationen vorzustellen, wie sie die seltsamen Beschäftigungen ihrer weiter fortgeschrittenen Verwandten angestrengt beobachten – Tätigkeiten, die ihnen möglicherweise faszinierend, aber unbegreiflich erscheinen mußten, alles in allem zu kompliziert, um an ihnen teilzunehmen. Leakey meinte sogar, einige Vertreter von Australopithecus hätten Gegenstände, die sie selbst nie hätten herstellen können, von besser entwickelten anderen Gruppen übernommen und benutzt. Eines jedenfalls ist sicher: Ein Kapitel dieser Entwicklung schloß mit den Menschenaffen des Südens, ein anderes, noch unvollkommen, hat jetzt begonnen.

Das Leben der frühen Hominiden

Die ersten hominiden Gemeinschaften

Daß die Dart-Hominiden in größeren Sippenverbänden zusammenlebten, ist nicht sehr wahrscheinlich. Wir können uns bestenfalls vorstellen, daß die Mitglieder des Typs A so etwas wie „Räuberbanden" bildeten, wo die einzelnen Mitglieder sich zusammentaten, um gemeinsam ein größeres Opfer anzugreifen. Es gab unter ihnen wahrscheinlich wilde Kämpfe um die zartesten und schmackhaftesten Beuteteile. Vielleicht riß der Sieger aber auch alles an sich.

Ameisen schließen sich gegen Feinde zusammen oder um eine größere Beute fortzuschaffen, die unter ihnen aufgeteilt werden soll. Vielleicht verhielten sich auch die Hominiden ähnlich oder noch weitgehender kooperativ. Sie hätten dann die Vorteile der Kooperation bei gleichzeitiger Unabhängigkeit des Vorgehens als Individuen (die sie ja blieben) entdeckt. Der Entwicklungsschub, der sich aus dieser starken Verbindung zwischen dem einzelnen Individuum und der Gruppe ergab, zeigte sich wahrscheinlich erst bei den kleineren Gruppen, die weniger Mitglieder zählten.

In einer Gruppe mit vielen Mitgliedern ist es weniger wahrscheinlich, daß die Überlegenheit einzelner herausragt. Daher ist es dann auch weniger wahrscheinlich, daß Wettstreit zu Reibungen und Gewalttätigkeit führt. In der kleineren Gruppe dagegen, in der alle Mitglieder einander auch in ihren Schwächen kennen, weiß jeder, der dominieren möchte, wie er das bewerkstelligen kann. Läuft er schneller? Übernimmt er die Führung, sobald das Beutetier in Sicht kommt? Ist er stark genug, mit seinen Rivalen fertig zu werden? Diese herausragenden Fähigkeiten, Geschwindigkeit, schnelles Reaktionsvermögen, Stärke, kennzeichnen den Anführer der Gruppe.

Ein weiterer Antrieb zum Kampf ist der Streit um die Weibchen. Wahrscheinlich waren in dieser Entwicklungsphase des Menschen die Hominidenweibchen nahezu ununterbrochen bereit, sich begatten zu lassen und sich fortzupflanzen. Ob dies schon auf die letzten Entwicklungsstufen vor dem Australopithecus zutrifft oder erst mit dieser Gattung in die Welt kam, ist noch ungeklärt. Mit sehr großer Wahrscheinlichkeit aber galt es bereits für die „Menschenaffen des Südens".

Wir müssen wohl auch dieser Periode eine gewisse Tendenz zur Monogamie zuschreiben. (Anthropoiden sind selten monogam, außer unter Ausnahmebedingungen wie Gefangenschaft oder Zugehörigkeit zu Gemeinschaften von sehr begrenzter Mitgliederzahl.) Monogamie steigerte natürlich auch die Intimität unter einzelnen Mitgliedern. Das wiederum führte wohl auch zu den ersten Formen sprachlicher Kommunikation, die sich ursprünglich vermutlich auf Mienenspiel und Gesten beschränkte.

Vielleicht entwickelten sich auch in der Australopithecusgemeinschaft in einer gewissen logischen Folge zunächst die Tendenz zur wechselseitigen Körperpflege (Entflöhen und Entlausen), daraus dann die Fähigkeit zum Austausch intimer Zärtlichkeiten und schließlich eine immer größere manuelle Geschicklichkeit. Die Hypothese, der Australopithecus sei imstande gewesen, Gegenstände vom Erdboden aufzunehmen und einfache Werkzeuge mit seinen Händen festzuhalten, scheint nicht abwegig zu sein. Wenn das so ist, muß es einen mächtigen Entwicklungsschub bedeutet haben.

Es ergab sich von selbst, daß die intelligenteren Gruppenmitglieder die weniger intelligenten anführten. Daraus resultiert dann eine allgemeine biologische Tendenz zur Verbesserung und Verfeinerung der neu erworbenen Fähigkeiten.

Wir staunen nicht mehr darüber, daß es im Laufe der Entwicklung einen Übergang von den einzelligen Protozoen zum Formenreichtum der Pflanzen und Tiere von heute gab. Wir sollten uns darum auch nicht zu sehr über die bemerkenswerte Entwicklung, die schließlich zum Menschen führte, wundern. Sie vollzog sich ungewöhnlich schnell; aber schließlich ist auch die Entwicklung des Menschen einzigartig, dadurch daß die sich entwickelnde Art ihre eigene Entwicklung beeinflußte.

In anderen Fällen und Formen (wie bei Ameisen und Bienen) führte der Prozeß zu außerordentlich spezialisierten Tierarten und Verhaltensmustern. In der Entwicklung des Menschen aber wurde ein unleugbarer Einfluß auf das, was er erst in diesem Prozeß wurde, von ihm selbst ausgeübt. Man kann den Evolutionsprozeß und die Geschichte des Lebens mit einem langen Film vergleichen. In diesem Fall müssen wir wohl zugeben, daß in demjenigen Teil des Films, der sich mit dem Erscheinen des Menschen befaßt, die Geschwindigkeit, mit der eine optische Sequenz auf die andere folgt, größer ist, als von den tatsächlichen Ereignissen der jeweiligen Sequenz her zu erwarten wäre.

Abgeschlagene Kieselsteine

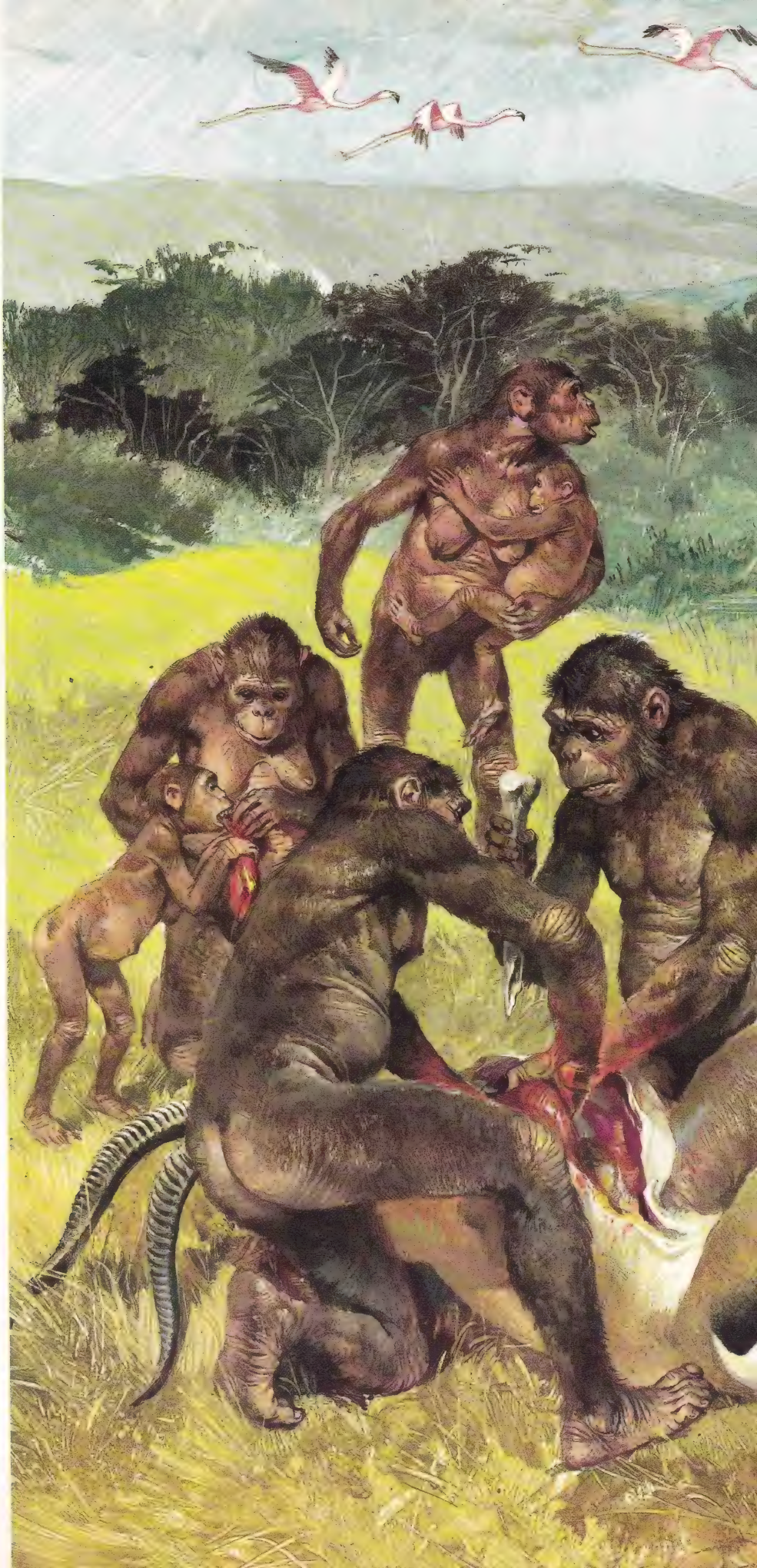
Der „Feingriff" ist eine menschliche Errungenschaft, aber in manchen Fällen, beim Sammeln von Beeren und Obst etwa, zeigen ihn auch die großen Menschenaffen. Meist jedoch werden Gegenstände und Werkzeuge von diesen Primaten sehr grob angefaßt.

Im Jahre 1962 stöberte Leakey in der Olduwaischlucht die Reste eines Hominiden auf, der vielleicht mit dem angeblichen „Werkzeugmacher" (Typ A) verwandt war und der Zweifel an der handwerklichen Geschicklichkeit des Dart-Hominiden vom Typ P aufkommen ließ. Diesmal wurden viele Werkzeuge gefunden: Kieselsteine, die nur teilweise abgeschlagen und überhaupt sehr grob bearbeitet waren. Manche gewannen offenbar erst durch längeren Gebrauch ihre abgeschlagene Form: Sie waren zunächst einfach als Steine aufgegriffen und festgehalten worden und wurden dadurch zu Werkzeugen, daß sie beim Gebrauch gegen irgendetwas Hartes geschlagen wurden. Heute betrachtet man diese Kieselsteine als ein Beispiel der *Kieselsteinkultur.* Sie war das erste Anzeichen menschlicher Bearbeitung, besaß aber vielfach noch Zufallscharakter.

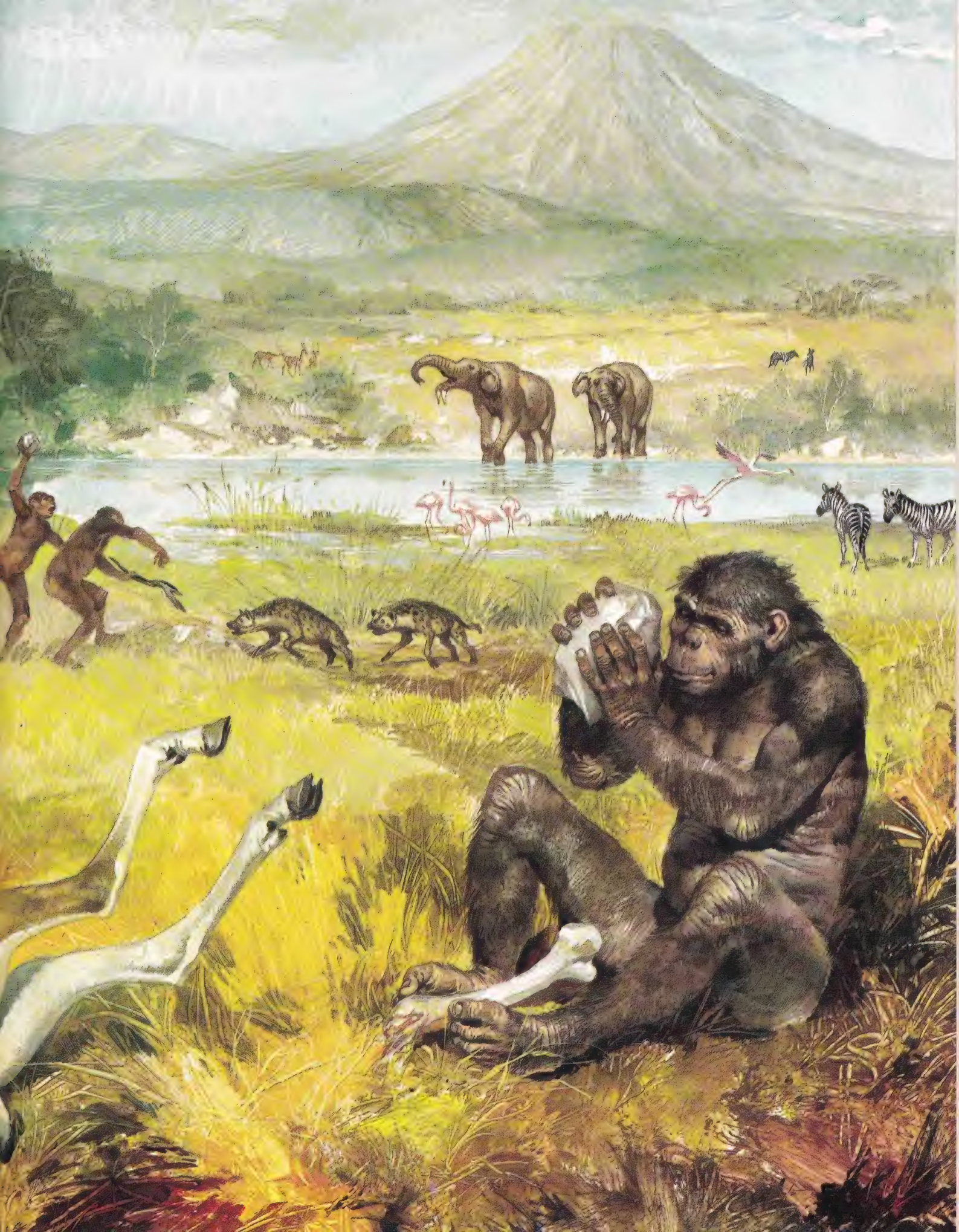
Paviane leben in großen Gemeinschaften. Bei ihnen gibt es eine eindeutige Hierarchie.

Für Leakey gab es keinen Zweifel, daß er einen Menschen gefunden hatte. Er nannte den Hominiden *Homo habilis.* Dieser Name wurde zum Pilotnamen einer ganzen Reihe von Artbezeichnungen, in denen der Gattungsname *Homo (Mensch)* verwendet wird. Leakeys Entscheidung war zu bedeutend, um ohne Kritik und Kontroverse akzeptiert zu werden. Viele Wissenschaftler behaupteten, diese Fossilien seien lediglich einer neu entdeckten Art der Gattung Australopithecus zuzuordnen. Manche bestritten die Tatsache und den Zweck der Kieselbearbeitung schlechthin. Bis heute ist diese Kontroverse nicht abgeschlossen, obwohl die meisten Fachleute inzwischen dazu neigen, diese Hominidenart mit anderen, durch reiche fossile Dokumente bezeugten Hominidenarten einer späteren Periode zu verbinden. Möglicherweise waren diese ersten Mitglieder des Typs Homo habilis Zeitgenossen des Australopithecus. Der Fall liegt ähnlich wie beim Zinjanthropus, mit dem einzigen Unterschied, daß der Homo habilis entwicklungsmäßig bereits einen großen Schritt vorwärts gemacht hatte.

Besondere Beachtung verdient die Tatsache, daß eine größere Ähnlichkeit zwischen dem Homo habilis und dem grazilen Dart-Typ besteht (vielleicht stammt der Homo habilis sogar von diesem ab) als zwischen dem Homo habilis und dem robusten Dart-Typ, dessen



Rekonstruktion der Gegend der heutigen Olduwaischlucht zur Zeit der grazilen Dart-Hominiden: Manche Mitglieder der Gruppe benutzen alte Knochenteile und größere Feuersteine zum Ausweiden einer Gazelle oder zum Aufbrechen eines Knochens, um das Mark herauszuholen. Die Hyänen streiten sich um das Aas. Zwei Dinotherien trinken an einem Wasserloch. In der Ferne sieht man den Ngorongorokrater.



Zeitgenosse der Homo habilis für längere Zeit war. Der robuste P-Typ war ein reiner Pflanzenfresser. Er konnte sich zwar länger halten als der allesfressende A-Typ, blieb aber entwicklungsmäßig im Gegensatz zu diesem immer auf derselben Stufe stehen, ehe er vollständig ausstarb.

Der Hinterkopf von Homo habilis zeigt eine ziemlich menschenartige Rundung. Seine Zähne ähneln den unseren (mit einer sehr schmalen, sternförmigen, fast kreuzähnlichen Einbuchtung auf der Kaufläche der Backenzähne). Seine Füße mit der relativ ausgeprägten Hacke und den langgestreckten, dicht beieinanderliegenden Mittelfußknochen deuten an, daß seine Gangart der unseren ähnlich gewesen sein muß und daß er sich nicht wie (vermutlich) die Australopithecinae durch Hüpfen und Springen fortbewegte.

Untersuchungen der Innenseite der Schädeldecke führten zu sehr interessanten Beobachtungen: Die Struktur des Gehirns war beim Homo habilis offenbar der unseres Gehirns ähnlich; dies gilt sogar für die Gehirnwindungen. Die Schädelkapazität lag bei rund 700 cm^3; außerdem verfügte der Homo habilis über einen kleinen, aber gut bestückten Bestand an Werkzeugen. War er also imstande zu denken? Hierüber gibt es wohl gar keinen Zweifel.

Ende 1972 erreichten uns aufregende Nachrichten aus der Gegend um den Rudolfsee, an der Grenze zwischen Tansania und Äthiopien: Mitglieder des Leakey-Teams (darunter L. Leakeys Sohn Richard) entdeckten dort Knochen, die dem Homo habilis zugeschrieben werden konnten und allem Anschein nach mehr als zwei Millionen Jahre alt waren. In derselben Gegend tauchten die Fragmente eines Unterkiefers auf, die dem Unterkiefer des Australopithecus vom Typ P ähnlich waren und auf ein Alter von rund fünf Millionen Jahren datiert werden konnten. Dies bedeutete eine beachtliche Bestätigung der These, daß Australopithecus und Homo habilis zeitlich nicht weit auseinanderlagen und z. T. vielleicht sogar Zeitgenossen waren.

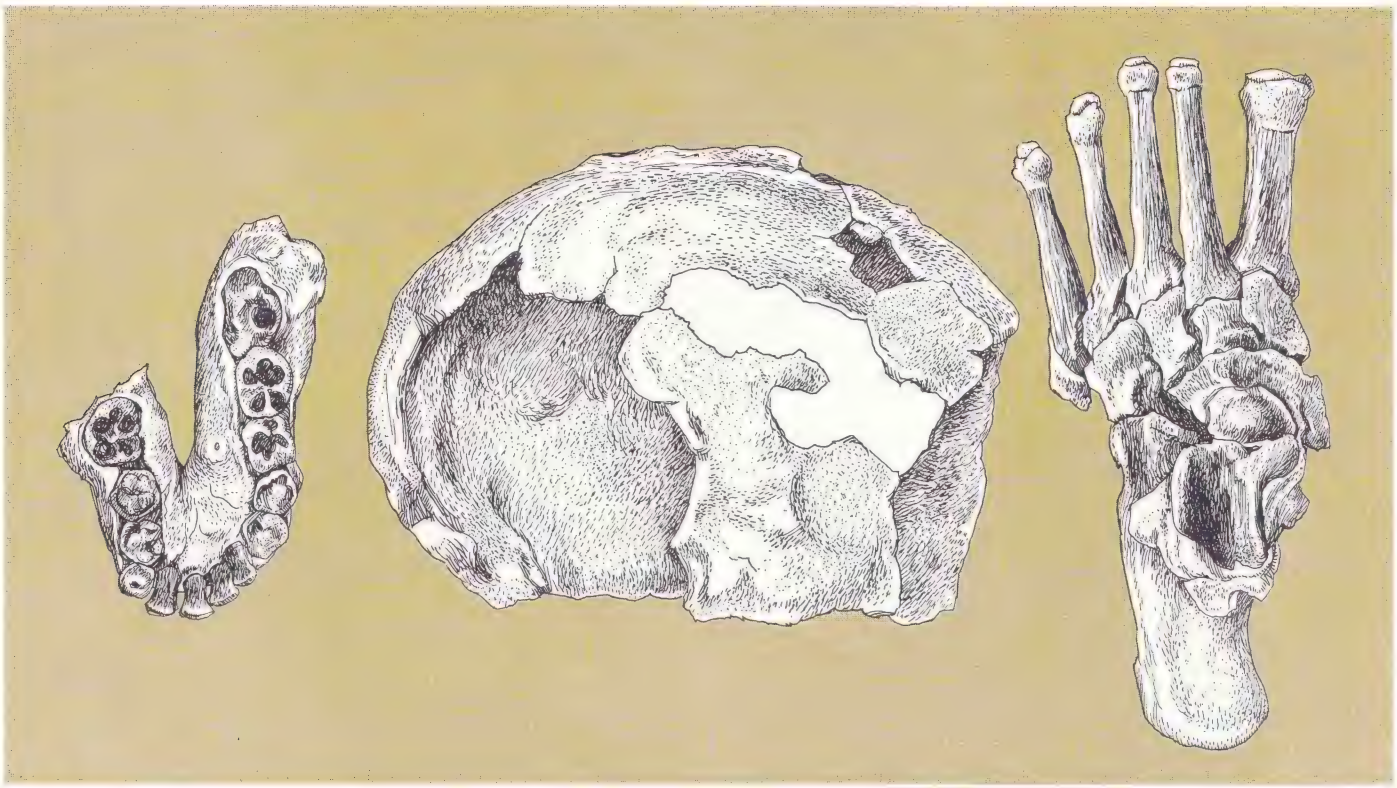
Die Eiszeit

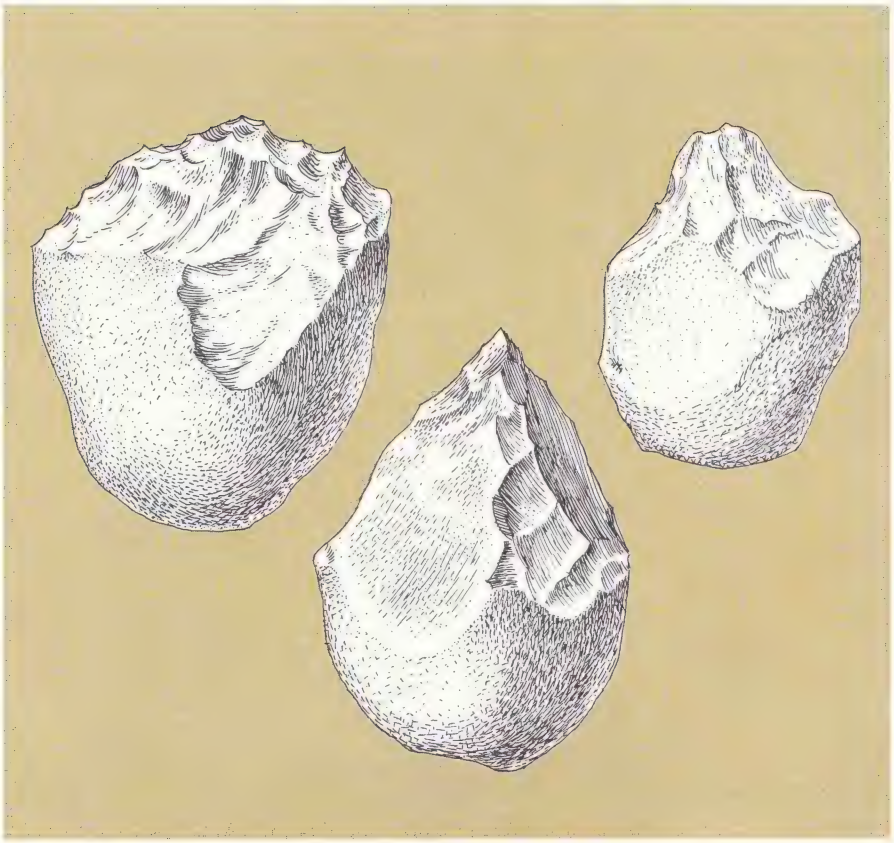
Bis jetzt spielte sich ein Großteil unserer Geschichte in Afrika ab. In Ägypten wurden Primatenfossilien ausgegraben, die mit dem Ursprung des Menschen in Verbindung stehen. Durch sie konnte der Zeitpunkt, in dem die Hominidenentwicklung sich von der Entwicklung der Pongiden abgespalten hat, bedeutend früher angesetzt werden. In Süd- und Ostafrika fanden wir den Australopithecus, in der Olduwaischlucht und im Gebiet um den Rudolfsee stießen wir zum ersten Mal auf Mitglieder der Gattung Homo.

In der Zwischenzeit blieb die Evolution auch in anderen Erdteilen nicht stehen, vor allen Dingen nicht in der Alten Welt und in Australien. Wir haben an vielen Orten Beweismaterial für die frühere Existenz von *Ramapithecus* gefunden, und wir wissen, daß sich die Australopithecusarten aus diesem Geschöpf entwickelt haben, und zwar in einem Zeitraum, der mehr als 15 Millionen Jahre umfaßt.

Es ist gut möglich, daß auch in anderen Weltgegenden Fossilien der Australopithecinae oder mit ihnen verwandter Typen noch zu finden sind. Im Augenblick jedoch müssen wir dabei bleiben, daß die letzten entscheidenden Phasen der menschlichen Entwicklung in Afrika stattgefunden haben, auch wenn parallele Entwicklungen für mehrere Teile der Alten Welt bestätigt wurden.

Alle Fossilien können auf das obere *Pleistozän* zurückdatiert werden. In diesem geologischen Zeitalter gab es einen sehr wichtigen klimati-





Oben: Fossilien des Homo habilis aus der Olduwaischlucht: ein Kieferknochen, eine Schädeldecke und ein Fuß, rekonstruiert auf der Basis der Mittelfußknochen.

Links: Werkzeuge der Olduwaikultur.

Oben: Fossilien von Homo habilis wurden auch in der Gegend des Rudolfsees gefunden.

Rechte Seite: Während des Pleistozäns wurden ausgedehnte Bereiche, in denen heute ein gemäßigtes Klima herrscht, von Vereisungen heimgesucht. Im Vordergrund ein Wollnashorn; im Hintergrund zwei Mammute und zwei Riesenhirsche (Gattung Megaloceros).

schen Faktor: Die Temperatur ging beträchtlich zurück, und es entstanden derart langanhaltende Klimaänderungen, daß man das Pleistozän mit Recht als *Eiszeitalter* bezeichnet.

Wenn sich unsere ganze Geschichte vor einem afrikanischen Hintergrund entfaltet hätte, würden uns diese Klimaänderungen kaum beschäftigen, da sich dort die Kälte nicht so anhaltend und intensiv bemerkbar machte und das Land dort – außer einigen gebirgigen Gegenden – niemals von Eis bedeckt war.

Große Teile Europas, Asiens und Nordamerikas waren dagegen vollständig von dicken Eisschichten bedeckt, die sich mehrere Male von der Nordpolkappe nach Süden hin ausbreiteten. In diesen so weit zurückliegenden Zeiten bedeckte das Eis manche Gebiete vollständig, in denen es heutzutage genügen würde, sich im Winter gegen die Kälte einen Mantel überzuziehen.

In einem früheren Band dieser Serie haben wir die Gründe für Vergletscherung und Eisbewegungen in den Gegenden an der Südkante der Eiskappen zusammengestellt und die Wirkung, die das Gewicht des Eises auf die Erdkruste hatte, erörtert. Im Hinblick auf die Geschichte des Menschen müssen wir hier nun betonen, wie wichtig das Nacheinander von Vereisungsperioden *(Eiszeiten, Kaltzeiten, Glaziale)* und Wärmezwischenzeiten *(Warmzeiten, Interglaziale)* ist.

Bei der Aufgabe, unsere Fossilienfunde am Lebensbaum in eine zeitliche Ordnung zu bringen, dienen uns diese Perioden als ein relativ zuverlässiger chronologischer Führer. Die paläoklimatologische Forschung (die sich mit klimatischen Bedingungen vergangener Zeitalter

befaßt) hat die *Eiszeit* des Pleistozäns mit einer Überfülle von Material reich dokumentiert. Auch das Datierungssystem auf der Basis von Pollenanalysen hat sich als nützlich erwiesen. Es macht es uns möglich, Fossilien zuverlässig zu datieren, die Lebensgewohnheiten der Arten, denen sie einst angehörten, zu bestimmen und ihre Verbindung mit anderen Gruppen abzuschätzen – all dies auch im Bereich ökologischer Forschung.

In Europa dauerte die erste intensive „Kältewelle" fast eine Million Jahre; sie ist als die *Donau-Vereisung* bekannt (weil das Donaubecken

besonders stark betroffen war). Dieser Vereisungsperiode folgten vier weitere mit den entsprechenden dazwischenliegenden Warmzeiten. Heute leben wir in der letzten Warmzeit.

Die vier weiteren *europäischen Eiszeiten* waren: *Günz-Vereisung* (vor 650 000 bis 550 000 Jahren), *Mindel-Vereisung* (vor 480 000 bis 440 000 Jahren), *Riß-Vereisung* (vor 230 000 bis 200 000 Jahren), *Würm-Vereisung* (mit zwei Hauptphasen oder „Wellen": vor 70 000 bis 35 000 Jahren und vor 35 000 bis 10 000 Jahren). Die Namen dieser Eiszeiten beziehen sich auf verschiedene Flüsse, die ihren Ursprung im Donaubecken hatten.

Die entsprechenden *Wärmezwischenzeiten,* die u. a. nach den sie jeweils zeitlich einschließenden Eiszeiten benannt werden, waren in *Europa: Waal-Warmzeit (Donau-Günz-Warmzeit), Cromer-Warmzeit (Günz-Mindel-Warmzeit), Holstein-Warmzeit (Mindel-Riß-Warmzeit), Eem-Warmzeit (Riß-Würm-Warmzeit).*

Für *Nordamerika* bezeichnet man die Folge der vier letzten Vereisungen entsprechend als: *Nebraskan* (entspricht der Günz-Vereisung), *Kansan, Illinoian* und *Wisconsin;* die entsprechenden Interglaziale heißen hier: *Aftonian* (entspricht der Günz-Mindel-Warmzeit), *Yarmouth* und *Sangamon.*

In *Afrika* wurden die Klimaänderungen während der Eiszeit durch zunehmend starke Niederschläge gekennzeichnet. Der schlammige Erdboden hinterließ dabei Schichtungen, die das Ansteigen und Überlaufen der Flüsse bezeugen. Diese Perioden, die mehr oder weniger den Vereisungen in anderen Kontinenten entsprechen, werden als *Pluviale (Pluvialzeiten)* bezeichnet.

Vorderkante eines Gletschers. Wenn dieser Gletscher zurückwiche, entstünde eine Moräne.

Homo erectus oder die Brücke von Heidelberg nach Asien

Im Jahre 1907 fand man bei Ausgrabungen in einer Sandgrube bei *Mauer,* einem Dorf in der Nähe von Heidelberg, einen eindrucksvollen menschlichen Unterkiefer. Er ist so groß, daß der Kiefer eines heutigen Menschen fast hineinpassen würde. Durch seine massige Struktur erinnert er an den Kiefer des Australopithecus vom Typ P, doch wirken die Zähne, trotz ihrer Größe, erheblich „moderner". Eine neue Hominidenart (der erste „europäische Mensch") erblickte das Licht der Welt. Sie erhielt die wissenschaftliche Bezeichnung *Homo erectus.* Den besonderen Merkmalen bzw. Eigenschaften des *Heidelbergmenschen (Mauermensch)* trägt der die Unterart kennzeichnende dreigliedrige Name *Homo erectus heidelbergensis* Rechnung.

Der Heidelbergmensch hatte vermutlich, was auch durch andere Funde untermauert wird, bereits einen aufrechten Gang. Die Struktur seines Unterkiefers zeigt uns darüber hinaus, daß seine Zungenmuskeln über eine gewisse Beweglichkeit verfügten und daß er sehr wahrscheinlich imstande war, verschiedene Laute zu artikulieren. Es ist also gut möglich, daß dieser unser Vorfahr bereits über so etwas wie „Sprache" verfügte und daß sich seine Kommunikation nicht mehr auf Nachahmung, Mienenspiel, Gesten oder Brüllen beschränkte.

Manche Wissenschaftler meinen, diese „neue" Kommunikationsfähigkeit habe sich dadurch entwickelt, daß der Mensch die Möglichkeiten, sich zu äußern, nach und nach bewußt erprobte und anwandte. Einerseits vermutet man, daß dieser Mensch aufgehört hatte, manche der ihm zur Verfügung stehenden Laute hervorzubringen, da sie sich als weniger wirksam erwiesen hatten. Für besondere Situationen entwickelte er im Laufe der Zeit eine Reihe spezifischer Signale: Um sich über eine

Maximale Ausbreitung der Vereisung im Pleistozän.

Entfernung hinweg verständlich zu machen, in einer Notlage auf sich aufmerksam zu machen, seine Gefährten heranzuholen oder vielleicht feindliche Tiere abzuschrecken, benutzte er schließlich nur noch die Laute der oberen Stimmlagen. Die Laute der unteren Stimmlagen lernte er reich und verschiedenartig zu modulieren; er brachte sie schließlich insgesamt sanfter und in ungefähr gleicher Tonhöhe hervor.

Der Unterschied entsprach etwa dem zwischen den Lauten, die man normalerweise im Telefon hört (d. h. vorzugsweise Sprechlaute), und anderen, hoch angesetzten Lauten, wie man sie etwa beim Singen oder beim Schreien hervorbringt. Die Gewohnheit, sich in den niedrigeren Tonlagen auf diese Weise verständlich zu machen, ermöglichte es dem Menschen, seine Zunge schließlich auf eine weitgehend leichte und natürliche Art zu gebrauchen.

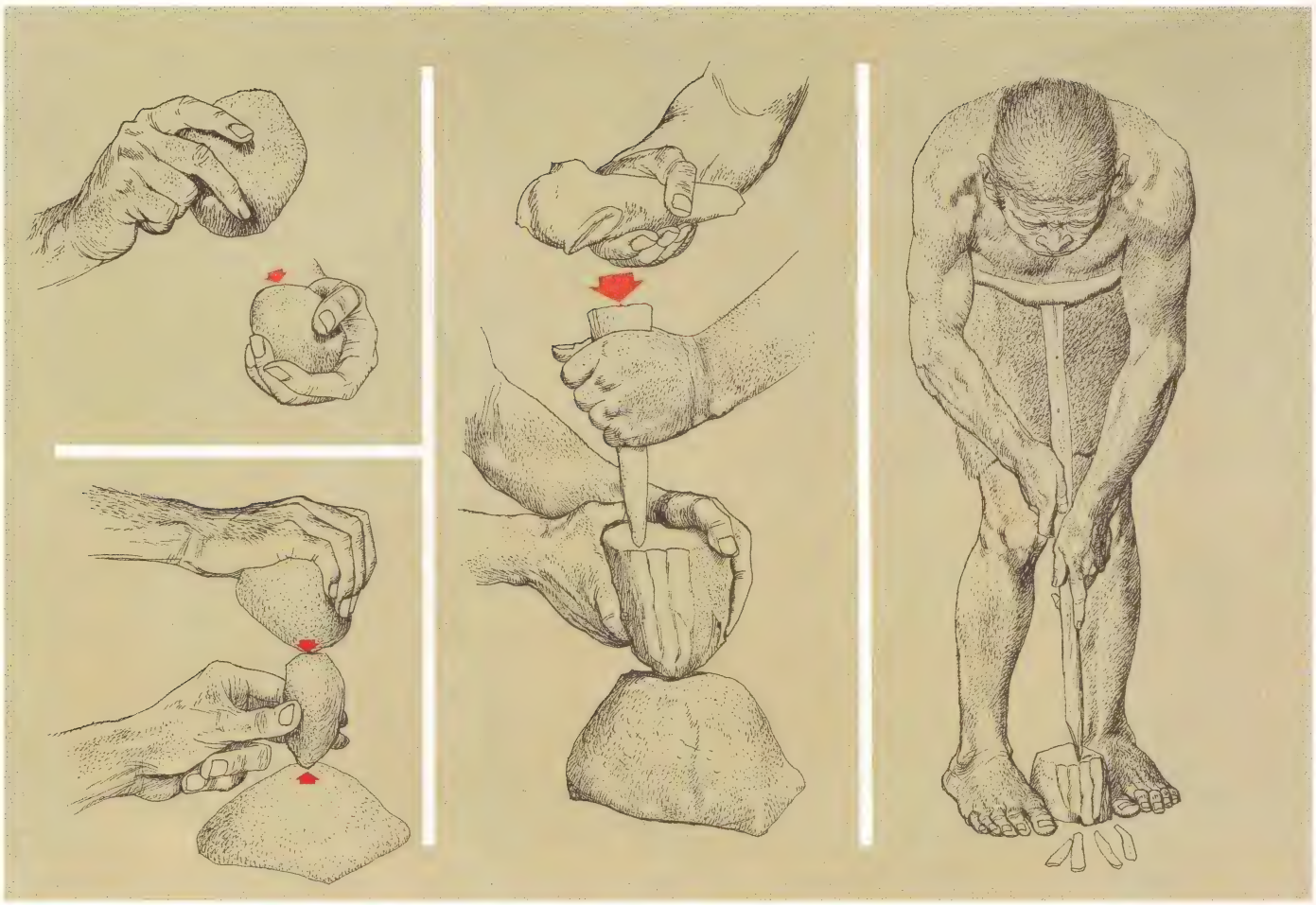
Der Heidelbergmensch, der heute auf die Günz-Mindel-Warmzeit oder die Mindel-Vereisung datiert wird, beherrschte das Feuer und stellte primitive *Hauwerkzeuge (Faustkeile)* aus Stein her. Diese Hauwerkzeuge stammen aus dem *Abbevillien,* der ältesten Phase der Faustkeilkultur, die nach der oberhalb der Sommemündung gelegenen nordfranzösischen Stadt Abbeville benannt ist. (Die einzelnen Kulturen sind jeweils nach den Orten benannt, an denen erstmals eine Vielzahl von typischen Gegenständen gefunden wurde.) Auf dieser kulturellen Stufe wurden die Feuersteine, die aus dem Abbevillien als *Donnerkeile* bekannt sind, auf beiden Seiten bearbeitet (sog. „Doppelseiter"). Den ersten Bearbeitungen, durch die das Werkzeug seine erste grobe Form gewann, folgten andere, aus denen wir die allmähliche Herausbildung der Schneidekante herleiten können.

Der Mauer- oder Heidelbergkiefer (Homo erectus heidelbergensis). Unteres Bild: Vergleich mit dem Kiefer eines Homo sapiens.

Von der Form der Faustkeile können wir mit Bestimmtheit sagen, daß sie nicht das Werk des Zufalls, sondern einer gezielten Bearbeitung war. Der Heidelbergmensch war ein geschickter Arbeiter. Er führte die Schläge, mit denen er die Kieselsteine bearbeitete und formte, mit sicherer Hand nach einem, wie die bearbeiteten Steine zeigen, genau festgelegten Schema.

Wahrscheinlich waren die ersten bearbeiteten Werkzeuge das Ergebnis einer Reihe von Zufällen. Aber es ist durchaus auch möglich, daß der bearbeitende Mensch dabei schon ein dem jeweiligen Zweck angemessenes abstraktes Muster vor Augen hatte. Wie dem auch sei, er fand offenbar heraus, daß die *Schneidekante* eines abgeschlagenen Kiesels eine sehr nützliche Sache war, und er versuchte sie zu verfeinern, indem er die Kante verlängerte. Er begann beide Seiten des Kiesels zu bearbeiten. Dadurch erhielt der Bereich zwischen den beiden grob abgeflachten Oberflächen eine durchgehende Schneidekante. Jetzt ging er daran, die Schneidekante selbst zu verbessern. Dazu bediente er sich kleinerer Feuersteine, mit denen er besonders leichte Schläge ausführte, um nicht zu viel abzuschlagen und das schon so weit fortgeschrittene Werk nicht wieder zu zerstören.

Es wäre für uns heute äußerst schwierig, diesen urtümlichen Schöpfungsprozeß nachzuahmen. Wenn wir bedenken, welche technischen Probleme dabei zu lösen waren, dann verstehen wir jedenfalls leichter, wieviel Zeit und Mühe der Mensch benötigte, diese ersten Schritte zu vollziehen. Die intensive Beschäftigung mit denjenigen Zufallsergebnissen, die nützlich erschienen und es wert schienen, wiederholt zu werden, muß den Menschen Tausende von Jahren nicht losgelassen haben. Jetzt wurden zum ersten Mal die Donnerkeile mit den Überresten des vorgeschichtlichen Menschen in Zusammenhang ge-



Einige Arbeitstechniken, die bei der Vorbereitung von Steinwerkzeugen angewandt wurden: direktes Abschlagen (ein Stein wird gegen einen anderen geschlagen, um Teile abzuschlagen); indirektes Abschlagen (ein Zwischenstein wird als Meißel benutzt); indirektes Abschlagen, um größere Abschläge von einer gewissen Form zu erhalten; Druckabschlagen.

bracht, und wir konnten mit Bestimmtheit sagen, daß der Mensch solche Gegenstände benutzt und sogar hergestellt hatte.

Ein weiteres Exemplar des Homo erectus wurde gegen Ende des letzten Jahrhunderts in der Nähe des Dorfes *Trinil* auf der Insel *Java* gefunden. Der *Javamensch,* den man früher als Pithecanthropus (Affenmensch) beschrieb, wird heute als zum Homo erectus gehörend klassifiziert: als Unterart *Homo erectus erectus.* Seitdem hat man weitere Schädel entdeckt, so daß wir wissen, daß seine durchschnittliche Schädelkapazität bei 870 cm^3 lag.

Über den Augen des Javamenschen erstreckte sich ein ausgeprägter durchgehender *Überaugenwulst.* Alle Zweifel über den aufrechten Gang der ersten Menschen wurden durch die Lage des Foramen occipitale magnum an seinem Hinterkopf zerstreut. Die Zähne des Javamenschen waren nicht ganz so kräftig wie beim Heidelbergmenschen.

Bei einem der gefundenen Exemplare lassen die Beinknochen erkennen, daß ihr Träger zu seinen Lebzeiten einen Knochenbruch erlitten hatte oder daß die Knochen durch Krankheit verformt wurden. Dies war das erste Mal, daß ein Symptom unserer eigenen Leiden an einem unserer vorgeschichtlichen Ahnen festgestellt wurde.

Die verschiedenen Exemplare von Homo erectus erectus, die man in Java fand, werden zwar mit abgeschlagenen Kieselsteinen in Zusam-

Bei Choukoutien, südwestlich von Peking, wurden die Fossilien von 40 Hominiden gefunden. Durch sie wurde eine Beschreibung des Homo erectus pekinensis (auch unter der Bezeichnung Sinanthropus bekannt) möglich.

menhang gebracht, aber es bestehen nach wie vor Zweifel darüber, ob es tatsächlich Spuren von Feuerstellen gab, die auf den Gebrauch von Feuer hinweisen würden. Als gesichert gilt dies in jedem Fall für den sog. *Pekingmenschen,* von dem 40 Exemplare in den 20er und 30er Jahren unseres Jahrhunderts in einer Höhle („Drachenhöhle") in der Nähe von *Choukoutien,* unweit der chinesischen Hauptstadt *Peking,* gefunden wurden. Früher als *Sinanthropus* („Chinamensch") bekannt, wird der Pekingmensch heute als ein hochentwickelter Vertreter des Homo erectus klassifiziert. Damit wurde eine neue Unterart, der *Homo erectus pekinensis,* wissenschaftlich begründet. Sein Schädel hatte ein durchschnittliches Fassungsvermögen von 1 050 cm^3 (maximal 1 225 cm^3).

Was zuletzt mit den fossilen Überresten des Pekingmenschen geschah, bleibt auch heute noch ein Rätsel. Bis zum Beginn der vierziger Jahre unseres Jahrhunderts wurden sie im Peiping Union Medical College von Peking aufbewahrt. In den Wirren des chinesisch-japanischen Krieges hielt man es dann wegen des schnellen Vormarsches der japanischen Truppen für ratsam, die Knochen an einen sicheren Ort bringen zu lassen. Man hatte bereits Gipsabgüsse der Fossilien ins Ausland gebracht. Nunmehr entschieden die chinesischen Wissenschaftler, daß auch die wertvollen Schädel und Knochen selbst China verlassen müßten. Sie wurden dem Kommandeur einer Marineeinheit anvertraut, die die Botschaft der Vereinigten Staaten bewachte. In seinem Gepäck sollten die Fossilien nach Amerika geschafft werden.

Oben: Vergleich zwischen Kieferfragmenten des Homo erectus pekinensis und dem vollständigen Kiefer von Oreopithecus bambolii.

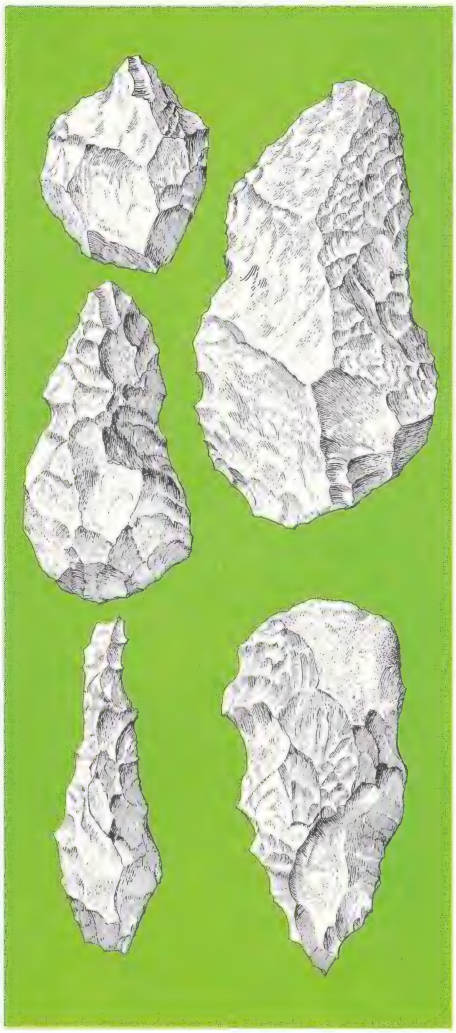
Links: Eine der „Drachenhügelhöhlen" bei Choukoutien.

Zusammen mit dem Gepäck und einigen Bewachern wurde der Pekingmensch also in einen Sonderzug verfrachtet, mit dem er zum nächsten Hafen befördert werden sollte, wo ein amerikanisches Schiff bereits auf ihn wartete. Durch den Angriff auf Pearl Harbour und damit den Eintritt Amerikas in den Zweiten Weltkrieg kam diese Überführung nicht mehr zustande. Das Schiff wurde von seiner eigenen Besatzung versenkt. Die Marinesoldaten wurden gefangengenommen und anschließend interniert. Der Pekingmensch aber verschwand spurlos.

Manche behaupten, die Kisten mit den wertvollen Gebeinen hätten sich an Bord eines Leichters befunden, der auf dem Weg zum Schiff gekentert war. Andere meinen, japanische Soldaten hätten den Zug geplündert und hätten, da sie den Wert des Frachtguts nicht gekannt hätten, die Knochen einfach weggeworfen. Am interessantesten scheint die Annahme, daß die Kisten von den Chinesen zu Feuerholz, das damals sehr knapp war, verarbeitet und die Gebeine des Pekingmenschen zu Heilmitteln zermahlen wurden. In China ist nämlich das Vertrauen in die Heilwirkung von „Drachenknochen" weit verbreitet.

Nach Kriegsende wurden die Marinesoldaten aus der Internierung entlassen, und es wurde von den amerikanischen, chinesischen und japanischen Behörden überall nach den Knochen gefahndet, ohne daß man jedoch auch nur einen einzigen von ihnen wiedergefunden hätte.

Heute gibt es einige bemerkenswert gute Gipsabgüsse des Pekingmenschen in verschiedenen Museen. Sie sind das einzige, was von ihm



erhalten geblieben ist. Die Gipsabgüsse vermitteln uns zwar einen Eindruck von seinem Aussehen, die Originale wären jedoch natürlich weitaus nützlicher, da wir sie jetzt mit Hilfe der in jüngster Zeit entwickelten Untersuchungsmethoden näher hätten „befragen" können. Die weiter vorn beschriebenen Isotopenmethoden könnten uns vermutlich manches über diesen Vertreter von Homo erectus verraten.

Die anatomischen Eigenschaften des Pekingmenschen wurden auf Grund anderer Funde festgestellt. Einer von ihnen war der *Lantianmensch.* Das Gesicht dieses Menschen, der ebenfalls in China, bei Lantian in der Provinz Schensi, entdeckt wurde, war, verglichen mit dem des Javamenschen, verhältnismäßig platt; der Mund war nicht ganz so weit vorgeschoben, das Kinn nur wenig ausgeprägt, und die Schädeldecke war gerundet und langgestreckt zugleich.

Die Kieselsteine, die mit dem Lantianmenschen in Verbindung gebracht werden, sind so stark bearbeitet, daß die ursprüngliche Form dieser Werkzeugsteine kaum noch zu erahnen ist.

Mit Hilfe der zahlreichen in der Drachenhügelhöhle ausgegrabenen Exemplare des Pekingmenschen konnte man feststellen, daß der Übergang vom Milchzahnstadium zum Dauerzahnstadium beim Pekingmenschen in anderer Weise als beim heutigen Menschen erfolgte: Beim Pekingmenschen brachen die zweiten Backenzähne (Molaren) vor den Prämolaren und den bleibenden Eckzähnen durch.

Auf Grund einiger Knochenfragmente, die in den Höhlen gefunden wurden und die offensichtlich wegen des Knochenmarks aufgebrochen waren, müssen wir annehmen, daß der Pekingmensch, der vorwiegend Fleischfresser war, auch Kannibalismus praktizierte. Höchstwahrscheinlich war dieser Brauch auch unter den Australopithezinen üblich.

Alle Vertreter von Homo erectus, mit denen wir uns bis jetzt befaßt haben, stammen aus der Zeit der Mindel-Vereisung. Der *Ngandongmensch,* den man im späten 19. Jahrhundert am Ufer des Flusses Solo (deshalb auch *Solomensch* genannt) in Java freilegte, erschien wahrscheinlich später. Die ausgegrabenen Fossilienreste dieses „Menschen" rechtfertigen seine Aufnahme in die Art Homo erectus. Er wurde als Unterart *Homo erectus soloensis* klassifiziert.

Oben links: Doppelseitige Werkzeuge aus dem Abbevillien, bei uns Faustkeile genannt.

Oben rechts: Vergleich des Hinterkopfs des Pekingmenschen (links) und des Neandertalers (rechts).

Der Schädel des Ngandongmenschen war sehr groß und massig, aber trotz der Größe war sein Fassungsvermögen ziemlich begrenzt (durchschnittlich 1 235 cm^3), weswegen der Ngandongmensch von manchen Forschern als eigene Art *Homo soloensis* angesehen und als solche zeitlich nach dem Homo erectus eingestuft bzw. zu den Neandertalern gerechnet wurde. Diese Anschauung wird auch heute noch gelegentlich vertreten; im allgemeinen gilt der Ngandongmensch jedoch eher als ein extremer Vertreter des Homo erectus.

Der Ngandongmensch stellt wohl einen Seitenast der Entwicklung dar und starb vermutlich (vielleicht während der ersten Phase der Würm-Vereisung, vor rund 70 000 bis 40 000 Jahren) aus. Die jüngsten Funde aus Amerika bestätigen, daß es schon während dieser Periode (der Wisconsin-Vereisung, wie sie in Amerika genannt wird) Menschen in der Neuen Welt, besonders im Norden des Kontinents, gegeben hatte. Wir dürfen daher annehmen, daß die ersten Amerikaner entfernte Verwandte des Homo erectus soloensis waren.

Kurzer Abstecher in die Neue Welt

Die Forschung ist immer noch nicht so weit, daß man die Frage nach den Ursprüngen des Menschen in der Neuen Welt zufriedenstellend beantworten könnte. Es steht lediglich fest, daß es während der Würm-Vereisung eine Landbrücke gab, wo heute die Beringstraße sich befindet, und daß die Völker, die in ihrer Nähe lebten, Vertreter der asiatischen Homo-erectus-Gruppe waren.

Leider wurden in Amerika bis jetzt nur Kieselsteine gefunden, und die Wissenschaftler sind sich nicht einmal darüber einig, ob diese Steine wirklich Werkzeuge darstellen. Die ersten Beweise für die Existenz von Menschen – Spuren von Feuerstellen, Werkzeuge (bis jetzt nur als Hauwerkzeuge identifiziert, obwohl ziemlich hoch entwickelt) – wurden in Lewisville, Texas, gefunden. Dieser Ort dürfte nach allgemeiner Überzeugung um etwa 35 000 vor Christi Geburt besiedelt gewesen sein. Vielleicht befand sich zur selben Zeit eine weitere Siedlung in der Nähe des Gebietes der heutigen Stadt San Diego in Kalifornien. Allerdings stammen die ersten menschlichen Überreste, die jemals in Amerika entdeckt wurden, aus einer sehr viel späteren Epoche als diese Anfangsspuren und sind offenbar einem höher entwickelten Menschentyp zuzuordnen.

Oben: Rekonstruktion eines Pekingmenschen.

Zurück nach Afrika: Das Ende einer Epoche

In Afrika können wir die Entwicklung des Homo erectus besonders gut verfolgen. Sie kann dort durch eine Fülle von Dokumenten belegt und veranschaulicht werden. In den Jahren 1954 und 1955 entdeckte der Paläontologe Camille Arambourg in *Ternifine* bei Oran in Algerien einige Fragmente eines Kiefers, die er einer neuen Menschenform, *Atlanthropus mauretanicus,* zuordnete. Heute als *Homo erectus mauretanicus* wissenschaftlich bezeichnet, zeigt der *Ternifinemensch* Ähnlichkeit sowohl mit dem Peking- als auch mit dem Heidelbergmenschen, wenn auch die Ähnlichkeit mit dem letzteren weniger ausgeprägt ist. Der Ternifinemensch zeigte eine hochentwickelte Kultur (*Acheuléen;* benannt nach dem Fundort St.-Acheul in der Dordogne, Frankreich), die es uns ermöglicht, ihn zeitlich jünger als seine chinesischen und (ein wenig auch) als seine europäischen Verwandten einzustufen.

In Afrika tauchten auch die Überreste eines Hominiden auf, der sich viel weiter als alle anderen bekannten Exemplare von Homo erectus in

Richtung auf den Homo sapiens hin entwickelt hatte: der *Rhodesiamensch,* der erstmals 1921 in dem nordrhodesischen Ort Broken Hill (heute Kabwe) von Bergleuten entdeckt wurde. Er wurde daher bald überall als „Mensch von Broken Hill" bekannt. Ausgegraben wurden ein Schädel sowie mehrere Arm-, Bein- und Beckenknochen.

Einige Jahre später fand man rund 1 000 km von Broken Hill entfernt an der kargen atlantischen Küste von Südafrika, in der Nähe der Saldanha Bay, Schädelfragmente, die sich, als sie zusammengefügt waren *(Saldanhamensch),* nur wenig von dem Rhodesienfund unterschieden. Zusammen mit diesen Überresten wurden auch Schneid- und Schabwerkzeuge aus Stein und aus Knochen zutage gefördert.

Der Rhodesiamensch wurde auf Grund seiner Kultur und wegen verschiedener anatomischer Merkmale von manchen Wissenschaftlern als Spätstadium des Homo erectus angesehen. Andere Fachleute wollen bei ihm eine Ähnlichkeit mit dem Neandertaler festgestellt haben, von dem im nächsten Kapitel die Rede sein wird. Wieder andere betrachten ihn als eine frühe Form des Homo sapiens, die schon ausgestorben gewesen sei, bevor der moderne Mensch in Erscheinung trat.

Der Rhodesiamensch ist weiter entwickelt als der Homo erectus, er ist aber noch kein Homo sapiens neanderthalensis und schon gar kein Homo sapiens sapiens. Wohin also gehört er? Vor kurzem wurde er von einer Reihe wissenschaftlicher Autoritäten als eigene Unterart unter der Bezeichnung *Homo sapiens rhodesiensis* eingruppiert.

An dieser Stelle wollen wir dieses verwirrende Rätsel auf dem Wege zum heutigen Menschen auf sich beruhen lassen. Wir wollen uns jetzt dem Neandertaler zuwenden – einem faszinierenden Wesen, das so viel Interesse erregt hat wie sonst nur unsere eigene Art.

Die ältesten bekannten Spuren menschlicher Anwesenheit in Amerika stammen aus Ausgrabungen bei San Diego, Kalifornien, und Lewisville, Texas. Die Aufnahmen zeigen Ausgrabungen bei Texas Street (links) und im Buchanan Canyon (rechts).

Der Mensch in der Eiszeit

Anpassung

Das erste fossile Überbleibsel des Neandertalers wurde im Jahre 1848 in einer Höhle an der Nordseite des Felsens von Gibraltar entdeckt. Selbst die Fachleute erkannten damals allerdings zunächst nicht, wie alt dieses Fossil war. Acht Jahre später wurde im *Neandertal* genannten Tal der *Düssel* bei Düsseldorf eine Schädeldecke (nebst Skelett) gefunden, die eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Fund von Gibraltar hatte. Der außergewöhnliche Charakter dieses fossilen Schädels mit seiner niedrigen Stirn und den ausgeprägten Überaugenwülsten wurde von manchen Fachleuten nicht sofort erkannt. Berühmte Forscher, wie z. B. Rudolf Virchow, glaubten, daß die Skeletteile einem heutigen Menschen zuzuordnen seien, der vielleicht einer außereuropäischen Rasse angehöre oder möglicherweise auch schlimme Krankheiten durchgemacht habe.

Dank zahlreicher anderer fossiler Überreste, die man in Frankreich (in La Chapelle-aux-Saints und bei Le Moustier, beide in der Dordogne) fand, war man in der Lage, diesen Menschentypus vollständig zu rekonstruieren. Wir sollten ihn gleichwohl nicht für unseren Vorfahren halten. Auf diese Frage werden wir noch zurückkommen.

Der *Neandertaler* war von kleiner Statur (ungefähr 1,50 m groß). Seine Knochen waren gedrungen und massiv. (Von seiner anfänglich angenommenen legendären Körperkraft mußte man jedoch Abstriche machen, als sich herausstellte, daß die ersten Beschreibungen des Neandertalers auf Skeletten von Individuen basierten, die an Arthrose gelitten hatten, wodurch ihre Knochen pathologisch vergrößert waren.)

Nach allgemeiner Überzeugung ging der Neandertaler aufrecht wie wir. Früher hatte man dagegen geglaubt, daß sich dieses Mitglied unserer eigenen Art in gebeugter Haltung und gleichsam hüpfend fortbewegt habe. Diese irrige Annahme resultierte aus der falschen Interpretation der Fossilien erkrankter Individuen sowie aus der Tatsache, daß der Neandertaler gekrümmte Oberschenkelknochen hatte. Ein wenig mag auch wissenschaftliches Parteigängertum bzw. Rivalität zu dieser Hypothese beigetragen haben.

Die Schädelstruktur des Neandertalers ist sehr interessant. Der betonte Überaugenwulst bildet eine Art Gesichtsschild. Die Stirn ist

Hauptfundorte für Fossilien des Neandertalers. Den hier abgebildeten Schädel entdeckte man in La Chapelle-aux-Saints in der Dordogne (Frankreich).

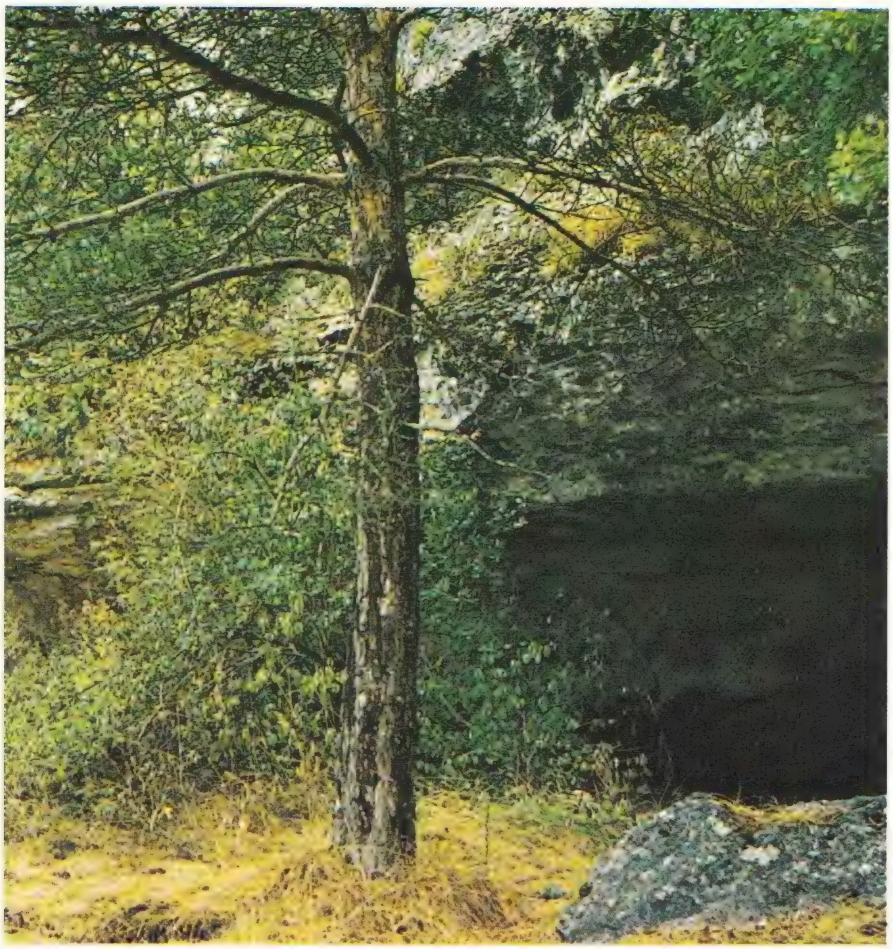
Kanalinseln 1
Gánovce 2
Gibraltar 3
Kiik-Koba 4
Krapina 5
La Chaise 6
La Chapelle-aux-Saints 7
La Ferrassie 8
La Quina 9
Peyzac-le-Moustier 10
Macarnavo 11
Monte Circeo 12
Montmaurin 13
Düsseltal (Neandertal) 14
Schanidar 15
Šipka 16
Spa 17
Teschik-Tasch 18

fliehend, und das Gesicht ist relativ flach. Das Kinn ist im allgemeinen wenig ausgeprägt, dabei ist der Kiefer massig. Die sog. *Fossa canina,* beim Jetztmenschen eine Vertiefung am Oberkiefer unterhalb des Foramen infraorbitale, fehlt völlig.

Wenn wir uns einen solchen Schädel mit Haut und Haar bedeckt vorstellen, dann wird uns das Bild des typischen Neandertalers im Vergleich zu unserem Aussehen heute nicht sonderlich schön erscheinen. Dennoch hatten die ersten Wissenschaftler keinerlei Zweifel. Er gehörte eindeutig zur Gattung Homo, aber zu einer Art, die streng zu unterscheiden ist vom heutigen Menschen.

Dann aber zeigten weitere Forschungen und genauere anthropologische Vermessungen, daß der Schädel ein Fassungsvermögen von mehr als 1 440 cm^3 besaß, das sich weitgehend aus der ausgeprägten Längung des Schädels ergab. Nun ist die durchschnittliche Schädelkapazität des heutigen Homo sapiens nicht größer als 1 400 cm^3 (die Maximalwerte liegen bei 2 000 cm^3). Die höchsten für den Neandertaler gemessenen Werte liegen bei 1 620 cm^3, wenn wir von den Messungen an den mehr als 130 Exemplaren jener Art, die uns heute bekannt sind, ausgehen.

Nachdem man die Schädelkapazität des Neandertalers genau gemessen und mit der des heutigen Menschen verglichen hatte, entschloß man sich, den Neandertaler an dem Evolutionsbaum als einen Vertreter

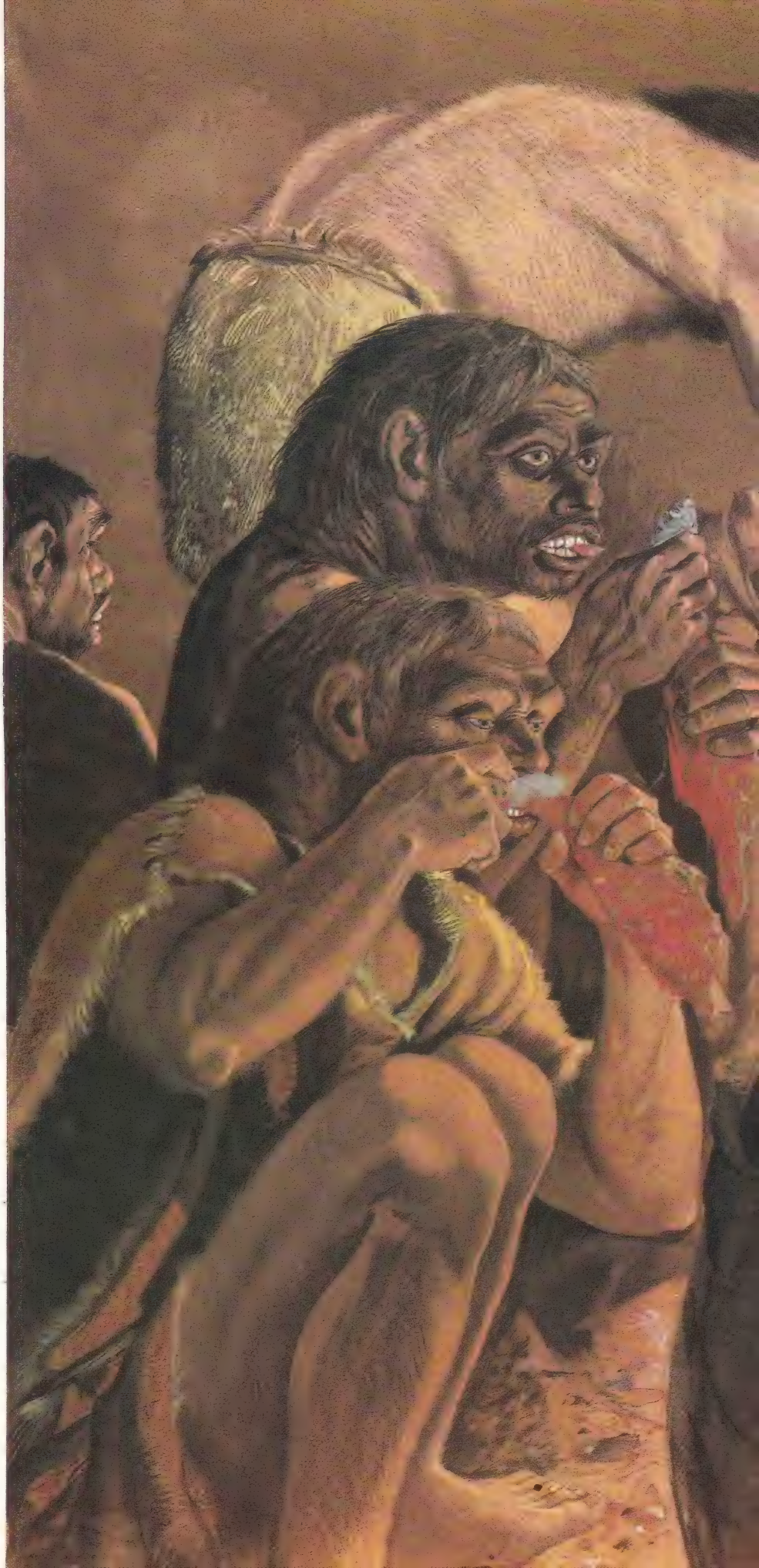


Ein Felsunterschlupf bei Peyzac-le-Moustier in der Dordogne (Frankreich), dessen Kultur (Moustérien) mit dem Neandertaler in Verbindung gebracht wird.

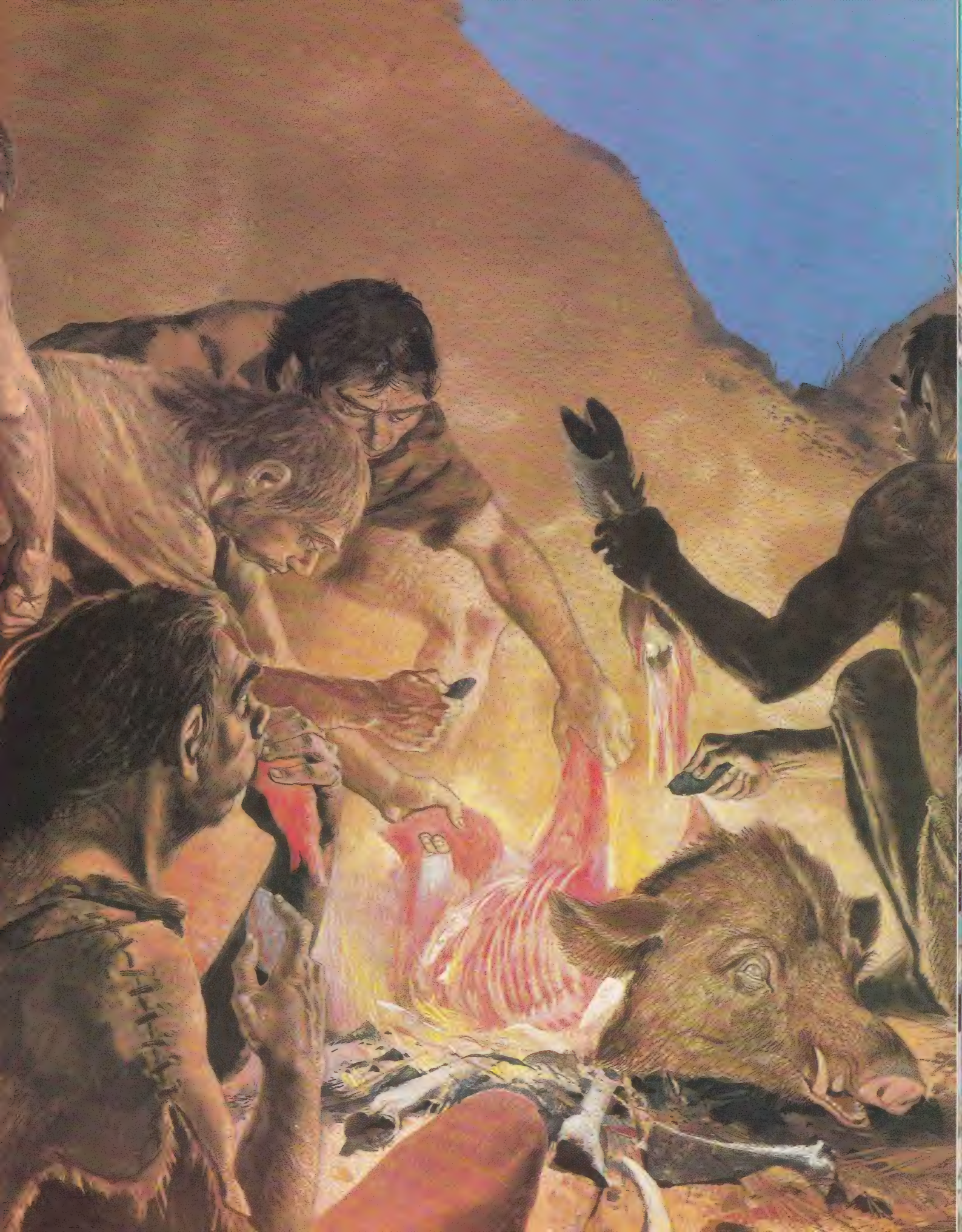
von Homo sapiens anzusiedeln. Die wissenschaftliche Klassifikation als *Homo sapiens neanderthalensis* erfolgte jedoch erst fast hundert Jahre nach der Entdeckung dieses wichtigen Mitglieds unserer Homo-sapiens-Familie.

Die Untersuchungen seiner Körperstruktur und die anscheinend mannigfaltige und die relativ hoch entwickelte Kultur (*Moustérien;* benannt nach der Höhle bei Le Moustier), die sich mit seinen fossilen Überresten verbindet, lieferten das Bild eines „primitiven" Menschen, der sich wahrscheinlich an seine Lebensbedingungen gut angepaßt hatte. Die stämmige, untersetzte Knochenstruktur, die verhältnismäßig kleine Körpergröße, die wahrscheinlich vorhandene Neigung zu Korpulenz sind alles Eigenschaften, die in einem kalten Klima sehr nützlich sind. Die ausgeprägte Entwicklung des Gehirns und im Zusammenhang damit wohl auch die Fähigkeit des Neandertalers, schnelle Entscheidungen zu treffen, bilden die unerläßliche Grundausstattung eines Jägers.

Der klassische Neandertaler lebte während der ersten Phase der Würm-Vereisung, also vor 70 000 bis etwa vor 35 000 Jahren. Wir wissen, wie er lebte, wie er jagte, welche Beute er bevorzugte, und wir können sogar rekonstruieren, wie er aß. Außerdem sind uns viele seiner „Wohnungen" bekannt – Höhlen oder geschützte Lagen unter breiten Felsvorsprüngen, die sich meist hoch über einem Fluß befanden.



Durch mikroskopische Untersuchungen stellte man fest, daß sich im Zahnschmelz des Neandertalerzahns nahe beieinanderliegende Linien befinden. Offenbar kamen scharfe Feuersteinwerkzeuge mit den Zähnen in Berührung. Man vermutet, daß sich die Neandertaler „bei Tisch" die Nahrung in den Mund stopften und dann ihre „Messer" dazu benutzten, alles Überstehende bzw. Heraushängende abzuschneiden. Diese Eßweise gibt es noch heute bei den Eskimos.



Wohnstätten und Freizeiteinrichtungen

Nicht jeder Paläontologe deutet diese Höhlen oder geschützten Lagen unter den Felsvorsprüngen als „Wohnstätten", und überhaupt ist natürlich eine so stark vereinfachende Zuordnung nicht durchgehend aufrechtzuerhalten. Die ungenaue, verallgemeinernde Bezeichnung „Höhlenmensch" wird zwar auf den Neandertaler oft angewandt, sie paßt aber im Grunde für diese Gruppe nur sehr vage.

Neandertaler waren *nomadisierende Jäger.* Sie werden zwar auch pflanzliche Nahrung aufgenommen haben, wo und wann immer sie sie fanden, sie taten dies aber anfänglich gewiß nicht regelmäßig und befolgten dabei kein bestimmtes Schema der Nahrungsaufnahme. Die rauhen Umweltbedingungen werden sie oft dazu getrieben haben, besonders nachts in Höhlen Schutz zu suchen. Tagsüber gingen die einzelnen Gruppen, die immer nur aus wenigen Mitgliedern bestanden (eine Gruppe umfaßte nicht mehr als 12 Mitglieder), auf die Jagd. Bei Sonnenuntergang versammelten sie sich wieder an irgendeiner geschützten Stelle. Daher war die Höhle kein richtiges Zuhause im eigentlichen Sinne; wahrscheinlich wurde sie selten mehr als zwei Nächte hintereinander benutzt. Höhlen wurden ausgewählt, weil sie sowohl gegen Kälte als auch gegen nächtliche Raubtierangriffe Schutz boten. Die einzelnen Höhlen wurden vermutlich eine Zeitlang von mehreren Gruppen nacheinander aufgesucht – wie eine Art prähistorisches „Motel" –, obwohl in ihnen jeder Komfort fehlte, außer daß sie eben Schutz vor Kälte und vor den Gefahren der Nacht boten.

Es mag sein, daß diese Deutung nicht auf jeden Einzelfall zutrifft, aber in den meisten Fällen hat sich herausgestellt, daß die Höhlen keine Schichten mit Tierknochenresten aufweisen, die von den Mahlzeiten

Unten links: Fußabdruck eines Neandertalers, erhalten im versteinerten Schlamm aus einer Höhle bei Albenga an der ligurischen Küste.

Unten rechts: Knieabdrücke, die ebenfalls dem Neandertalern zugeschrieben werden.

ihrer vorübergehenden Bewohner übriggeblieben wären. Es gibt auch im Grunde keine Spuren von richtigen Feuerstellen. Wenn das im Einzelfall dennoch einmal vorkommt, liegen die Feuerstellen häufig am Höhleneingang, was uns vermuten läßt, daß das Feuer als eine Art nächtlicher Schutzschild für die Gruppe dienen sollte, der die Raubtiere abschreckte. Es sind jedoch auch Spuren von richtigen Wohnhöhlen zum Vorschein gekommen; in diesen allerdings kann man die Feuerstelle genau festlegen, da sie von Knochenhaufen (sogar Mammutknochen sind dabei) umgeben sind.

Wahrscheinlich wanderten diese im wesentlichen nomadischen Gruppen von Ort zu Ort, immer auf der Suche nach Wild. Sie sammelten auch Früchte von den Bäumen und gruben im Erdboden nach Knollen und Wurzeln. Das Ernten von Getreide entwickelte sich erst später, so daß die Hauptnahrung dieser Menschen aus Fleisch bestand. Das war ganz offensichtlich von Vorteil, da Fleisch den täglichen Kalorienbedarf deckt, der nötig ist, wenn ein Mensch die Härte eines kalten Klimas ertragen muß. Wir dürfen nicht vergessen, daß während einer Vereisungsperiode die klimatischen Bedingungen mehr oder weniger denjenigen der langen Winterzeiten in Island und Lappland heute ähnlich gewesen sein müssen.

Wir können also folgern, daß aller Wahrscheinlichkeit nach die Höhlen nicht als Wohnstätten, sondern als vorübergehender Unterschlupf benutzt wurden. Andere Entdeckungen legen allerdings den Gedanken an folgende interessante Hypothesen nahe: Die Böden einiger Höhlen zeigen festgestampfte Oberflächen, woraus man schließen könnte, daß solche Höhlen oder Felsunterschlüpfe in einigen Fällen als Versammlungsort für verschiedene Gruppen gedient haben könnten, die sich dort etwa für eine Jagdexpedition oder einen Tanz zusammenfanden. Solche Tänze haben verschiedene Deutungen; wir werden später über eine dieser Deutungen mehr erfahren. Sie wurden ausschließlich von Männern ausgeführt, die mit ihren Füßen auf den Boden stampften. Spuren solcher *stampfender Tänze* finden wir z. B. darin, daß einige Bodenschichten besonders kompakt sind; gelegentlich kann man sogar im längst hart gewordenen Lehm Fußabdrücke erkennen. Dabei muß man allerdings die Tatsache berücksichtigen, daß die sog. „Böden" dieser Höhlen aus drei oder vier übereinanderliegenden Schichten bestehen können; die Höhlen wurden schließlich nacheinander über einen langen Zeitraum hin von verschiedenen Menschengruppen aufgesucht.

Die Höhlen waren also offenbar Versammlungsorte für größere Gemeinschaften, die nicht durch Blutsverwandtschaft miteinander verbunden waren. Sie werden zum Gedankenaustausch und zur Planung vor gemeinsamen Jagden benutzt worden sein. Schließlich können sie auch (und dafür gibt es bedeutende Hinweise) als „Werkstätten" und „Handwerksschulen" gedient haben. An vielen Stellen fand man gehäufte Feuersteinsplitter, die ohne Zweifel als Abfall menschlicher Arbeit anzusehen sind.

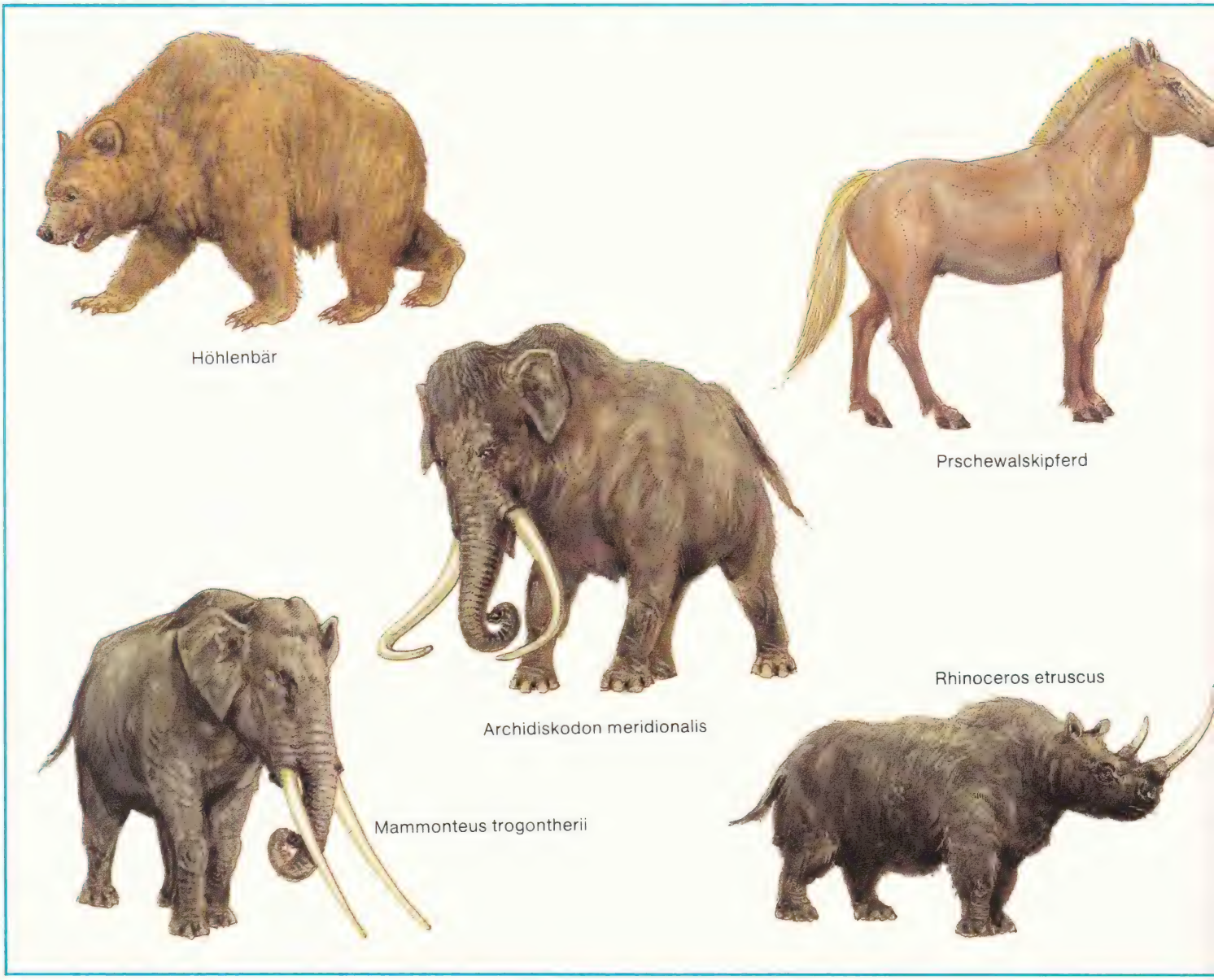
Um einen *Faustkeil* aus unbearbeiteten Steinen herzustellen, wandte der Neandertaler beträchtliche Geschicklichkeit auf. Zuerst schlug er darauf ein, um die ersten großen Abschläge herzustellen. Er bediente sich dabei einer Technik meisterhaft genau geführter Schläge gegen den ursprünglichen Kiesel- oder Feuerstein. Darauf folgte dann eine ganze Serie von verfeinerten Schlägen, um die verschiedenen Instrumente zu vollenden. Diese Operationen wurden dann methodisch immer

Rechter Fuß eines weiblichen Neandertalerskeletts aus La Ferrassie.

wieder ausgeführt, um durch gleiche Verfahrensweisen gleiche Gegenstände herzustellen. Die formale Übereinstimmung aller gefundenen Stücke setzt voraus, daß eine ganze Gruppe von Menschen gemeinsam an der Wiederholung eines vorgegebenen Schemas gearbeitet haben muß, vielleicht unter Aufsicht eines erfahrenen Meisters.

Die Sorgfalt der Bearbeitung ermöglichte es diesen frühen Werkzeugmachern, zwei Grundtypen herzustellen: den *Faustkeil* und den *Schaber*. Der letztere war einem Messer ähnlich, mit einer Schneidekante auf der einen Seite. Er war als solcher wohl unentbehrlich beim Zerteilen von Beutetieren und beim Reinigen und Verarbeiten von Tierfellen. Vielleicht wurden zu dieser Zeit die Faustkeile nicht mehr mit der Faust gehalten, sondern an Zweigen befestigt, die am einen Ende aufgeschlitzt waren, damit sie auf das Werkzeug paßten. Diese Holzgriffe sind natürlich längst verschwunden. Jedoch gibt es immer noch seltene,

Säugetiere des Pleistozäns.



aber bedeutende Spuren von Werkzeugen, die aus Knochen und Horn gearbeitet wurden. Diese Funde helfen uns, die Beutetiere des Neandertalers zu bestimmen und seine Jagdmethoden zu rekonstruieren.

In bezug auf die Benutzung der Höhlen sind alle Hypothesen gleich plausibel: Eine einzige Unterkunft könnte im Laufe verschiedener Epochen als gelegentlicher Unterschlupf für die Nacht, als Zentrum oder Versammlungsort für eine Gruppe oder Gruppen, als „Tanzsaal" und als „Schule" für angehende Handwerker benutzt worden sein.

Nahrung und Kleidung

Die Neandertalergruppen jagten vor allem kleine Nagetiere (besonders Feldmäuse und andere Vertreter der Mäusefamilie). Dazu kamen Hasen, Rehe, Eber, Bisons und andere Rinderarten wie der Moschusochse. Wenn die Gelegenheit sich gerade bot, scheuten sie sich nicht, selbst

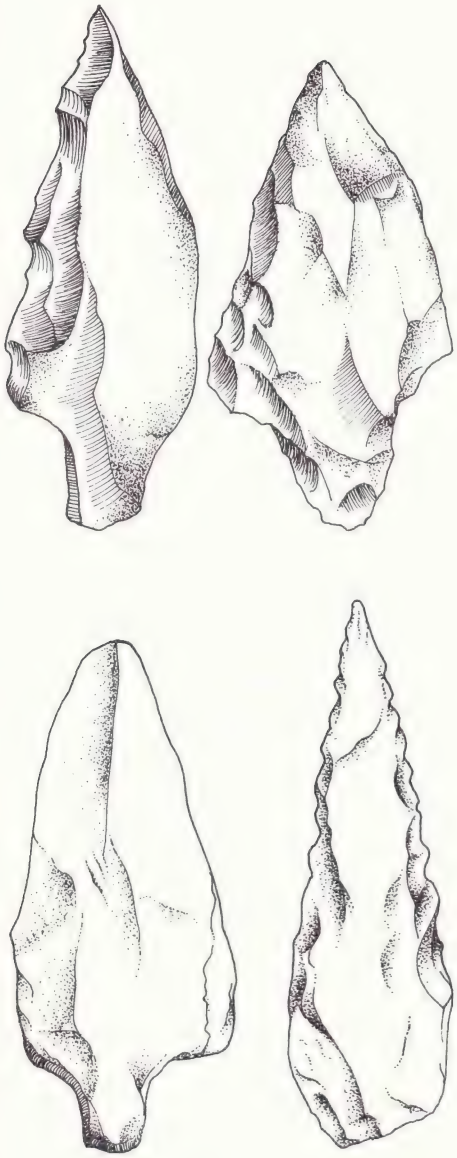
Mammonteus primigenius

Ovibos moschatus

Machairodus

Bison priscus

Megaloceros giganteus



Speerspitzen aus dem Moustérien.

riesige Tiere zu erlegen. Wir wissen, daß sie Hirsche der Gattung Magaloceros jagten, die ein Geweih von einem Umfang von etwa 3 m besaßen. Wir wissen auch, daß sie Höhlenbären überwältigten und töteten – zur Bereicherung ihres Speisezettels, aber wahrscheinlich auch, um sich einen unangenehmen und gefährlichen „Mitbewohner" vom Halse zu schaffen.

Als Waffen der Neandertaler sind zu nennen: *Feuersteinkeulen,* die wahrscheinlich einen Holzgriff besaßen und als Äxte benutzt werden konnten; vielleicht auch *Speere,* die aus Ästen mit Feuersteinspitzen bestanden. Nur mit diesen primitiven Waffen gerüstet, jagte der Neandertaler sogar das Mammut, ein Tier, bei dessen Anblick selbst ein moderner Großwildjäger mit Präzisionsgewehr und Zielfernrohr weiche Knie bekäme.

Wenn wir versuchen, eine dieser weit zurückliegenden Jagden zu rekonstruieren, dann wird uns sofort klar, wie wichtig sprachliche Kommunikation und die Fähigkeit, Strategien zu entwickeln und Pläne zu „formulieren", gewesen sein müssen. Wir können uns vorstellen, wie diese Menschen die *Jagd* für den nächsten Tag planten und die verschiedenen Aufgaben untereinander aufteilten. Sie verließen sich dabei auf ihre Höhlen als Schutz- und Zufluchtsstätte und vertrauten im übrigen auf ihre eigene Erfahrung und ihr Beobachtungsvermögen. In ihren Höhlen waren sie vor allen nächtlichen Raubtieren sicher. Manchmal werden sie auch Raubtiere getötet und gegessen haben, da außer den Überresten von Bären auch solche von Säbelzahntigern freigelegt wurden.

Im Schutz ihrer Höhlen bereiteten die Neandertaler ihre Angriffspläne gegen das Großwild vor, die nicht selten von Erfolg gekrönt waren. Zweifellos kamen ihnen dabei ihre Beobachtungen schwieriger Situationen zustatten, in denen sie die Tiere gelegentlich vorfanden. Sie überlegten dann, wie sie solche schwierige Situationen künstlich herstellen konnten. Das führte zum Erfinden von *Fallen:* Fallgruben etwa oder auch lediglich sumpfiges Gelände, in das die Jäger das erspähte Wild durch wilde Schreie oder vielleicht auch durch das Schwingen von Fackeln hineinzutreiben versuchten.

Wenn ein Tier dann hilflos in der Falle gefangen war, töteten sie es, und alle Mitglieder der Gruppe machten sich über die Beute her und zerhackten sie in größere Stücke. Um die Fleischstücke zu zerteilen oder auch um Fettreste von der Innenseite des abgezogenen Tierfells abzuschaben, benutzten sie ihre *Schaber* wie primitive Messer. Den Schädel des erlegten Tiers stellte man am Rand des Lagerplatzes auf. Eventuell erbeutete Stoßzähne (von einem Mammut) dienten dazu, ein aus Tierhaut gefertigtes Zelt abzustützen.

Die Jagd brachte dem Neandertaler nicht nur Nahrung, sondern auch Bekleidungsmöglichkeiten. Höhlenmenschen werden oft als stark behaart dargestellt; es gibt aber keine Beweise, die diese Vorstellung belegen. Möglicherweise war der Neandertaler nicht viel stärker behaart als wir selbst. Auf jeden Fall bot ihm sein Haarkleid keinen ausreichenden Schutz gegen die Kälte. Gewiß wird sein Körper an das kalte Klima der Eiszeit gut angepaßt gewesen sein, aber es ist ziemlich unwahrscheinlich, daß er mit „dichtem Haar" oder gar einem „Zottelpelz" bedeckt war, wie es uns manche phantasievollen Beschreibungen weismachen wollen.

Bei sehr kaltem Wetter und wenn die Winterstürme sie in ihren Höhlen gefangenhielten, wird den Neandertalern ihr handwerkliches

Jagd in Lappland. In einer solchen Umgebung jagte auch der Neandertaler.

Geschick zustatten gekommen sein. Sie hatten dann Zeit, die erbeuteten *Tierfelle* zu Kleidungsstücken zu bearbeiten. Wahrscheinlich trug der Neandertaler eine Art „Poncho", der seinen Körper von den Schultern bis zum Bauch bedeckte und dabei Armen und Beinen Bewegungsfreiheit ließ. Die Tierfelle wurden von Fleischresten freigeschabt, vielleicht auch auf primitive Weise gegerbt und mit *Ocker* bemalt. (Dieser farbige Lehm diente den damaligen Menschen auch zur Bemalung verschiedener Körperteile, sei es zu Verschönerungszwecken oder um Feinde oder Beutetiere einzuschüchtern.) Nachdem die Tierhäute zur besseren Haltbarkeit zufriedenstellend gesäubert, getrocknet und geräuchert waren, wurden sie zusammengebunden oder -genäht, und zwar mit geflochtenen Lederstreifen oder Pflanzenfasern (unter den Werkzeugen der damaligen Zeit wurden auch *Ahlen* aus Feuerstein gefunden).

Roten oder gelben Ocker benutzte der Neandertaler auch dazu, die Leichen von toten Gruppenmitgliedern zu bemalen, bevor sie begraben

Die Neandertaler scheuten sich nicht, riesige Tiere wie das Kältesteppenmammut zu jagen. Sie gingen dabei in Gruppen vor und versuchten die Tiere in primitive Fallen aus ausgehobenen Löchern hineinzutreiben. Mit solcher Beute sicherten sie sich einen Fleischvorrat für einen längeren Zeitraum. Das eisige Klima machte es ihnen dabei leichter, das Fleisch frisch zu halten.

wurden. Es ist dabei wichtig zu wissen, daß die Totenbestattung bewußt erfolgte. Das deutet auf die Entstehung übersinnlicher bzw. religiöser Vorstellungen hin, die über die Bedingungen des Alltags hinausreichten. Es beweist auch, wie wir noch sehen werden, daß der Mensch damals anfing, die Zyklen der Jahreszeiten zu beobachten – ein erster Schritt zur regelmäßigen, systematischen Bodenbearbeitung (Ackerbau).

Überhaupt kann man bei vielen Tätigkeiten der Neandertaler einen sich allmählich entwickelnden Denkprozeß erkennen. Um z. B. Bekleidung herzustellen, muß man zunächst den Körper als eine Form „sehen" können, der ein Fremdstoff angepaßt werden kann. Der Mensch mußte also, um ein Bekleidungsmuster entwerfen zu können, sich von einer höchst selbstbezogenen Körperwahrnehmung distanzieren und lernen, sich objektiv zu betrachten, sozusagen als einen „Gegenstand", der meßbar ist.

Auch die Form der Steinwerkzeuge, die der Neandertaler gestaltete, erlaubt uns gewisse Rückschlüsse auf seine Fähigkeit zur Abstraktion. Ganz offenbar versuchte er die äußere Form dieser Werkzeuge zu einer besseren Effizienz hin zu verbessern. Wir haben in diesem Sinne bereits die Entwicklung des Hauwerkzeugs zur Doppelseitigkeit hin erwähnt, wodurch die Oberfläche der Schneidekante vergrößert wurde. Wie aber sollen wir die mühsamen Versuche des Neandertalers, Regelmäßigkeit in die Feingestaltung zu bringen, erklären? All dies hat nichts mit der bloßen Wirksamkeit des Werkzeugs zu tun.

In all diesen Zeugnissen erkennen wir, wie ein zunächst sehr vages Bedürfnis sich herausbildet, etwas zu schaffen, das nicht nur nützlich, sondern auch schön ist. Im menschlichen Geist gibt es eine unbewußte Gleichsetzung von „schön" und „symmetrisch". Diese resultiert möglicherweise aus einer ständigen und intensiven Beobachtung, die der Mensch seiner eigenen Person und seiner Umwelt zuteil werden läßt: Er entdeckt dabei die Symmetrie an seinem Gesicht und seinem Körper und am Körper der anderen Tiere.

Viele Wissenschaftler messen diesen Bekundungen einer beginnenden Abstraktionsfähigkeit und eines ästhetischen Gefühls nur geringe Bedeutung zu oder leugnen sie schlichtweg. Sie gründen ihre Rekonstruktionen auf einfache archäologische oder paläontologische Daten, ohne die ethologischen Daten, die ihnen zur Verfügung stehen, in Betracht zu ziehen (Ethologie ist die Wissenschaft vom tierischen Verhalten, einschließlich des menschlichen).

Im Falle der *Totenbestattung* sind die Beweise nicht zu übersehen. Fast alle menschlichen Skelette, die wir gefunden haben, stimmen in einem Punkt überein: Es sind Skelette von einzelnen, die bewußt und absichtlich von anderen Mitgliedern der gleichen Art begraben wurden. Dies ergibt sich z. B. daraus, daß offenbar für die Beerdigung sorgfältige Vorbereitungen getroffen wurden, die eine spätere Zerstreuung der Knochen nach der Auflösung des Körpers verhindern sollten.

Funde von einfach liegengelassenen Toten sind äußerst selten; wir können in diesen Fällen aus der jeweiligen Lage der Toten schließen, daß ihr „Begräbnis" und ihre Erhaltung ein Werk des Zufalls waren. Dies aber ist zugleich eine weitere Erklärung für die geringe Anzahl menschlicher Überreste aus der Zeit vor dieser Entwicklungsphase. Bevor die Menschen dazu übergingen, ihre Toten zu begraben, wurden die Leichen den wilden Tieren überlassen, die sie zerrissen und fraßen; die Knochenüberreste wurden von Wasser in Flüsse und Seen weggespült.

Rechte Seite: Die Neandertaler praktizierten einen Totenkult. Ihre Begräbnisriten waren unterschiedlich. Manchmal wurde der Leichnam auf den Rücken gelegt, manchmal wurde er in Fetushaltung zusammengekrümmt. In den Grabstätten dieser Art wurden Werkzeuge, Tierknochen, Riemenfetzen (vielleicht um die Glieder zusammenzubinden) und mögliche Reste von Blumenkränzen (Pollen) gefunden.

Die Toten und die Pflanzen

Der Neandertaler erkannte vielleicht als erster, daß die Erde die Anfänge eines neuen pflanzlichen Lebens in sich barg. Zuerst genügte es ihm, die Früchte von den Bäumen zu pflücken. Eines Tages wird er sich dann auch einmal gebückt haben, um Gräser und Kräuter näher zu betrachten. Er wird dabei bemerkt haben, wie die Samen (die er zu essen gelernt hatte, nachdem er den Nagetieren beim Fressen zugeschaut hatte) auf den Erdboden fielen und unter der Oberfläche verschwanden, um danach als neue Pflanzen wieder hervorzusprießen. Vielleicht hat das den Anstoß gegeben, mit seinen verstorbenen Artgenossen ähnlich zu verfahren: Man begrub seine Toten in der Erde, damit sie wiederauferstünden. Dies wenigstens ist die Theorie mancher Fachleute.

Zusammen mit diesem Versuch, die Toten zu neuem Leben zu erwecken, stellen wir eine andere Tendenz fest. Man versuchte den

Toten eine andere Lebensform zu ermöglichen, die unterschiedlich und räumlich abgesondert und unabhängig von dem Leben der Gemeinschaft war. Die ohnehin immer schon schwierige Nahrungsbeschaffung für die ganze Gruppe wurde durch einen Todesfall noch „problematischer". Mußte man doch immer mit der Möglichkeit rechnen, daß die Toten zurückkehrten und ihren Anteil von der täglichen Ration verlangten. Solche „Überlegungen" mögen dazu geführt haben, daß man die Toten nicht nur in der Erde begrub, um ihnen eine Wiederauferstehung zu ermöglichen, sondern daß man ihnen zugleich auch Nahrungsmittel mit ins Grab legte, damit sie bei einer Rückkehr die Lebenden nicht bestehlen mußten.

Eine solche Deutung würde auch die zusammengekrümmte Körperhaltung, in der die Skelette gefunden wurden, wenigstens teilweise erklären. Manche Paläontologen sehen darin nämlich eine Nachahmung der Position, die der Fetus im Mutterleib einnimmt, und interpretieren diese Bestattungsform als einen bewußten Versuch, die Erde den Toten geneigter zu stimmen. Mit anderen Worten: Die Erde wäre eher in der Lage, einen Toten wieder ins Leben zurückzubefördern, wenn der Leichnam sich bereits in einer Lage befände, die derjenigen des Fetus im Mutterleib vor der Geburt entspräche.

Der Mensch hatte sich damit bereits in die Welt des Unbegreiflichen vorgewagt. Er schickte sich nunmehr an, sich andere Kräfte anzueignen, die durch Körperkraft allein nicht zu erlangen waren. Er fragte sich, ob er nicht mehr tun konnte, die Ordnung der Dinge zu beeinflussen, sie so zu ändern, daß sie für ihn vorteilhafter ausfiel. Durch seinen Totenkult hatte

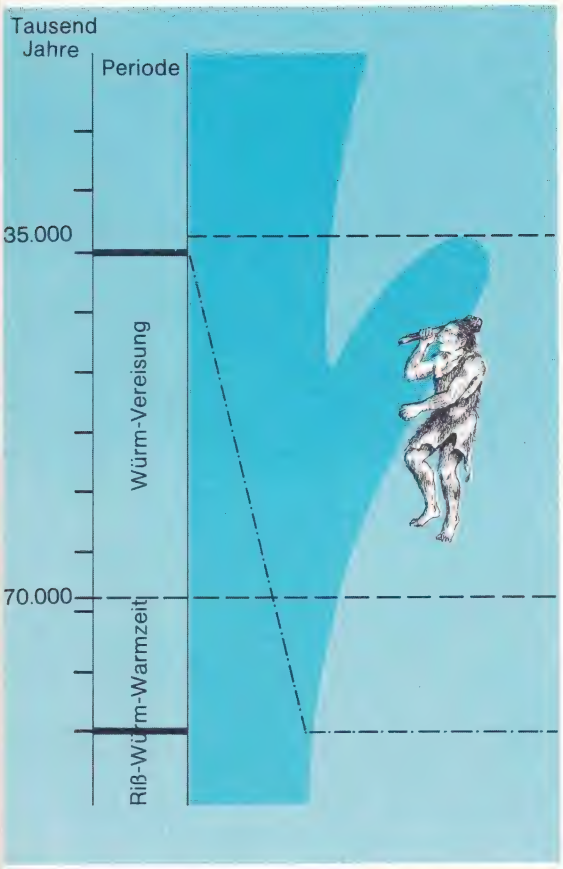
Ritueller Totentanz von Eingeborenen der Neuen Hebriden.

er eine stärkere Beziehung zur Natur gewonnen. Er fühlte sich mit der Natur verbunden, nicht nur als ein Teil von ihr, sondern als möglicher Herr und Meister ihrer Geheimnisse. Auf diese Weise kam der Neandertaler zur *Magie.*

Viele der Grabstätten, die ans Licht kamen, geben uns Hinweise darüber, auf welche Art und Weise die Toten (manche sicher im Kampf umgekommen, manche vielleicht als Menschenopfer dargebracht) für das Begräbnis vorbereitet wurden. Der Leichnam wurde auf einem „Bett" aus rotem oder gelbem Ocker regelrecht aufgebahrt. Zuvor wurde er auf irgendeine rituelle Weise verstümmelt oder sonstwie hergerichtet.

Bei dem Schädel z. B., den man in einer Höhle am Fuße des *Monte Circeo* in Italien fand, war das große Hinterhauptsloch (Foramen occipitale magnum) auf künstliche Weise vergrößert. Diese Erweiterung der Öffnung an der Schädelbasis wurde durchgeführt, um das Gehirn herauszuholen. Vielleicht war es ein Teil der Begräbnisriten, daß das Gehirn der Toten (sei es ein besiegter Feind oder ein rituelles Opfer) von den anderen Mitgliedern der Gruppe verzehrt wurde, damit die Kraft, die Geschicklichkeit oder die Weisheit des Toten auf die Lebenden übertragen würde (in diesem Zusammenhang sei daran erinnert, daß ein solcher ritueller Verzehr von Totengehirnen noch bis vor kurzem bei einer kleinen Gruppe von Neuguineakriegern üblich war). Ein weiteres Loch in der linken Schläfe des *Circeoschädels* läßt uns vermuten, daß sein Träger mit einem stumpfen Gegenstand erschlagen worden war. War er das Oberhaupt einer Gemeinschaft, das vielleicht beim Kampf erschlagen oder bei der Jagd umgekommen war? Oder war er ein rituelles Opfer? Im letzteren Falle hätten wir das erste bewußt ausgeübte Menschenopfer der Geschichte vor uns. Es gibt kaum einen Zweifel

Darstellung des Circeoschädels, von einem rituellen Ring von Steinen umgeben (linke Abbildung), wie er von A. C. Blanc entdeckt wurde. Rechts der gleiche Schädel in verschiedenen Positionen; in der unteren Position sieht man deutlich das stark vergrößerte Hinterhauptsloch (zum Herausholen des Gehirns).



darüber, daß die Neandertaler durch solche Bräuche auf irgendeine Weise die Naturgesetze beeinflussen und die Natur zwingen wollten, sie zu begünstigen. Die Jagd könnte diese Bräuche angeregt haben. Vielleicht glaubte man, daß man sich die Fähigkeiten eines geschickten Jägers dadurch aneignen könnte, daß man sein Gehirn verzehrte. Es mag gelegentlich tatsächlich vorgekommen sein, daß ein solcher magischer Glaube „Wunder wirkte" und sich entsprechende Erfolge bei der Jagd einstellten.

Im Leben des Neandertalers spielten noch andere rituelle Verhaltensweisen eine Rolle. So scheint man z. B. die Knochen großer Mammute und Höhlenbären in auffällig geregelter Weise angeordnet zu haben, vielleicht mit der Absicht, eine Art Friedhof für die Überreste einer solch wertvollen Beute zu schaffen. Es ist wenig wahrscheinlich, daß dies alles von der Gewohnheit, „Knochenvorräte" anzulegen, herrührte. Die Aufstellung von Schädeln zusammen mit ihren Stoßzähnen, die wir bereits erwähnten, scheint ebenfalls auf einen magischen Brauch hinzuweisen: Die Tatsache, daß man in der unmittelbaren Nachbarschaft solcher Kultstätten hauste und daß die Mammutstoßzähne das eigene Zelt stützten, sollte wohl eine Art Gewähr dafür bieten, daß auch bei der nächsten Jagd weitere Mammute überwältigt und erlegt werden konnten.

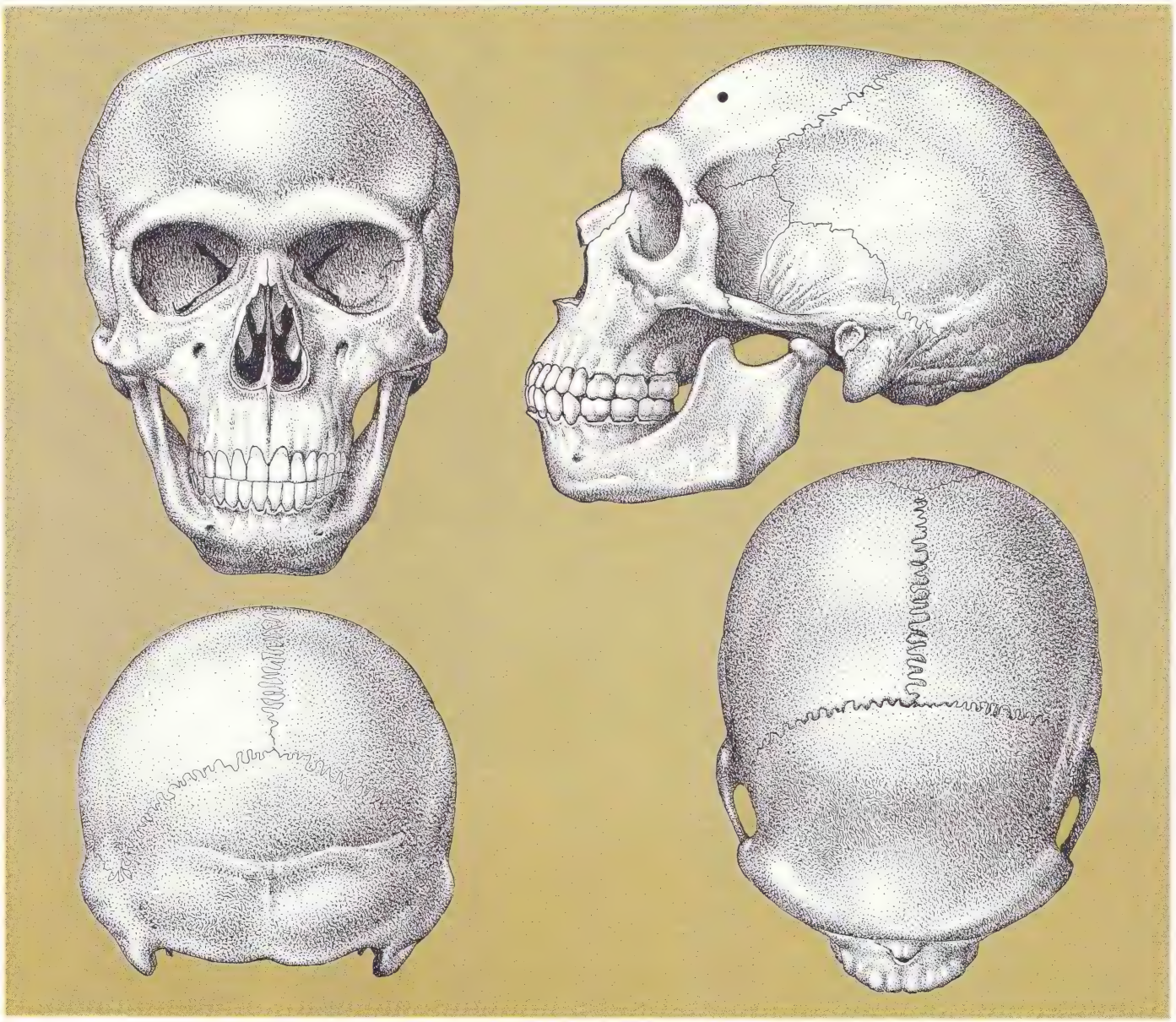
Vielleicht war auch das Ritual für die Erde selbst bestimmt. Dies würde die Menschenopfer erklären. Da die Erde Samen „auferstehen" ließ und, so schien es wenigstens, den Toten das Leben zurückgab, mußte sie eine Art Lebenselixier enthalten, eine geheimnisvolle Kraft, die der Mensch vielleicht stehlen oder vermehren konnte. Wenn es so war, daß die Erde den Toten das Leben zurückgab, dann vermochten vielleicht die Toten, wenn man sie ausdrücklich zu diesem Zweck erschlug, die lebensspendende Kraft der Erde zu vermehren, sie fruchtbarer zu machen und dadurch die Gräser und Kräuter auf den Feldern und die Früchte an den Bäumen üppiger gedeihen zu lassen. So oder ähnlich könnten die Überlegungen dieser frühen Menschen gewesen sein.

Woher und wohin?

Bei seinem Auftauchen zu Beginn der Würm-Vereisung war der Homo sapiens neanderthalensis schon ziemlich spezialisiert. Dieser Mensch war zweifellos das Ergebnis der Anpassung an das strenge Klima der Vereisungsperioden (Glaziale), und seine Karriere als „klassischer Neandertaler" mit den typischen Merkmalen seiner Art dauerte mindestens 30 000 Jahre. Wir wollen uns nicht auf Hypothesen darüber, welche Qualitäten den Bedingungen dieser Umwelt eher angemessen waren, einlassen; solche Hypothesen sind durchweg äußerst riskant. Wir müssen dennoch zugeben, daß dieser besondere Typus Mensch im ganzen ein Erfolg war. Sein schließliches Verschwinden könnte man damit erklären, daß die Umweltbedingungen, an die er am besten angepaßt war, sich veränderten. Diese Veränderung fand zu Beginn der letzten Warmzeit (in der wir heute noch leben) statt.

Homo sapiens neanderthalensis, eine ausgestorbene Menschenunterart, die mit dem heutigen Homo sapiens verwandt ist. Die „Geschichte" dieses Menschen entfaltete sich wahrscheinlich zwischen der letzten Warmzeit und der ersten Phase der Würm-Vereisung.

Dennoch ist die wahre Geschichte des Homo sapiens neanderthalensis nicht so einfach oder so geradlinig, wie diese Vorstellung uns glauben machen möchte. Wir wissen nicht, woher dieser Mensch kam und wer seine unmittelbaren Vorfahren waren. Manche Fachleute behaupten, daß Präneandertalerzüge sowohl beim Heidelbergmen-



Schädel des Homo sapiens neanderthalensis. Auffällig sind die ausgeprägten Überaugenwülste, die langgestreckte Hirnschale, die fast horizontal über dem großen Hinterhauptsloch liegende Nackenfalte, das im allgemeinen nur schwach entwickelte Kinn und die nur schwach ausgeprägte Fossa canina.

schen als auch beim Ngandongmenschen zu erkennen seien. Eine gewisse Verwandtschaft mit dem Heidelbergmenschen ist sicher nicht auszuschließen; daß aber der Neandertaler direkt von diesem abstammte, ist doch sehr fraglich. Falls es eine solche Abstammungslinie tatsächlich gegeben hat, dann hat sie sich, ohne Spuren in der Riß-Vereisung zu hinterlassen, von der Mindel- bis zur Würm-Vereisung erstreckt.

Einige Schädel, dem klassischen Neandertalerbild ähnlich, wurden an mehreren Orten, darunter Saccopastore bei Rom und Quinzano bei Verona, gefunden. Jedoch scheinen diese Schädel etwas mehr Ähnlichkeit mit den Schädeln der heutigen Menschen zu tun zu haben, auch wenn sie gewisse Neandertalermerkmale zeigen, besonders im Bereich des Kiefers und der Schädeldecke. Die ältesten Fossilienreste, wahr-

Rechts: Ausgrabungsstätte am Gebirgszug Karmel in Palästina.

Rechte Seite, von oben nach unten: Funde aus Ehringsdorf (heute zu Weimar), Saccopastore, Gibraltar (der allererste Neandertalerfund) und La Chapelle-aux-Saints.

scheinlich aus der Riß-Würm-Warmzeit (vor 110 000 bis 70 000 Jahren), wurden in Ehringsdorf (heute zu Weimar) in Deutschland, in Krapina bei Zagreb (Kroatien) und in Gánovce (Slowakei) gefunden. Auf sie trifft die Bezeichnung Präneandertaler eher zu.

Die Schädelkapazität dieser *Präneandertaler* ist geringer als die der klassischen Neandertaler. Sie liegt zwischen 1 070 und 1 280 cm^3 mit einem Durchschnitt von 1 175 cm^3. Dies ist zum Teil dadurch bedingt, daß bei ihnen der Schädel nicht ganz so länglich ausfällt, sondern hinten ziemlich rund ist. Auch diese Menschen waren relativ klein (etwa 1,50 m groß). Ihre Überaugenwülste waren nicht sehr ausgeprägt. Auch das Kinn war, wie bei dem klassischen Neandertaler, nur sehr wenig ausgebildet.

Es gibt immer noch keine zufriedenstellende Erklärung für den mächtigen Entwicklungssprung des Menschen aus der Zeit des Homo erectus bis in diese Riß-Würm-Warmzeit. Noch weniger klar sind die Umstände, die mit seinem Verschwinden zusammenhängen. Logisch wäre es, einfach anzunehmen, daß der Neandertaler am Ende der ersten Würm-Vereisungsphase als Folge der veränderten Umweltbedingungen ausstarb. Wir sind jedoch immer noch nicht in der Lage, diese Annahme mit einigen Funden (und zwar besonders mit denen, die in mehreren Schichten in Palästina zum Vorschein gekommen sind) in Einklang zu bringen.

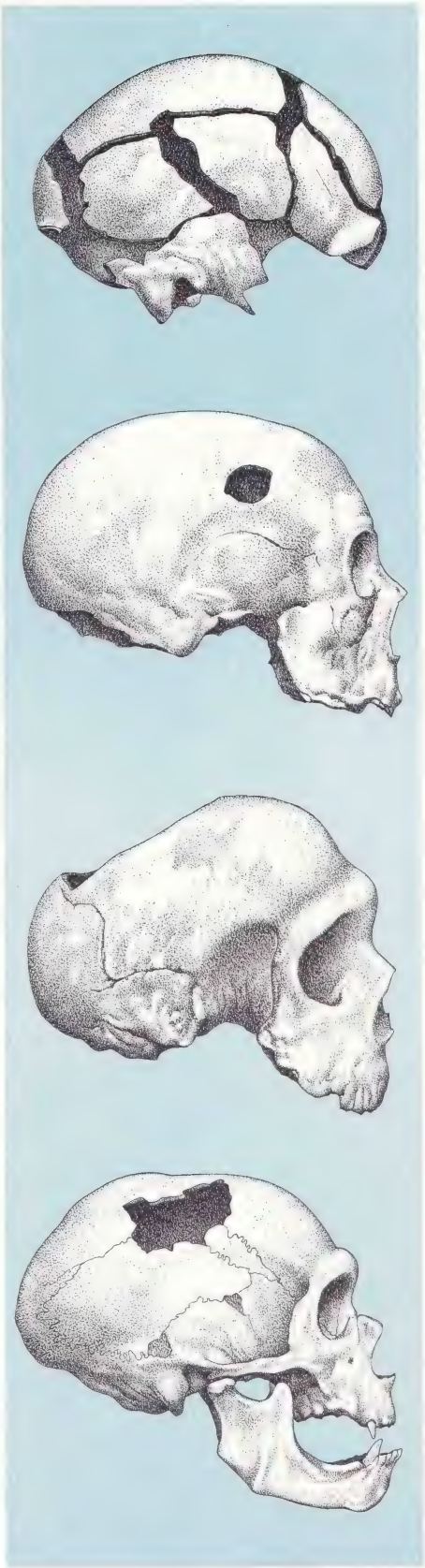
In den Höhlen des Gebirgszugs *Karmel* in der Nähe von Jerusalem gab es Populationen vom Neandertalertyp (und zwar einer etwas orientalischen Erscheinung dieses Typs), solche von anderen Menschentypen, die entschieden „moderner" waren, und solche, deren Merkmale eine Mischung beider Typen darstellten und die möglicherweise einer zeitlich jüngeren Periode entstammen. Wenn die letzteren, an denen sich sowohl archaische (urtümliche) als auch moderne Merkmale zu fast gleichen Anteilen erkennen lassen, zu den Neandertalern gehört haben sollen, dann kann es sich nur um eine äußerst entwickelte Gruppe gehandelt haben, die sich vielleicht schon kurz vor ihrem Aussterben befand.

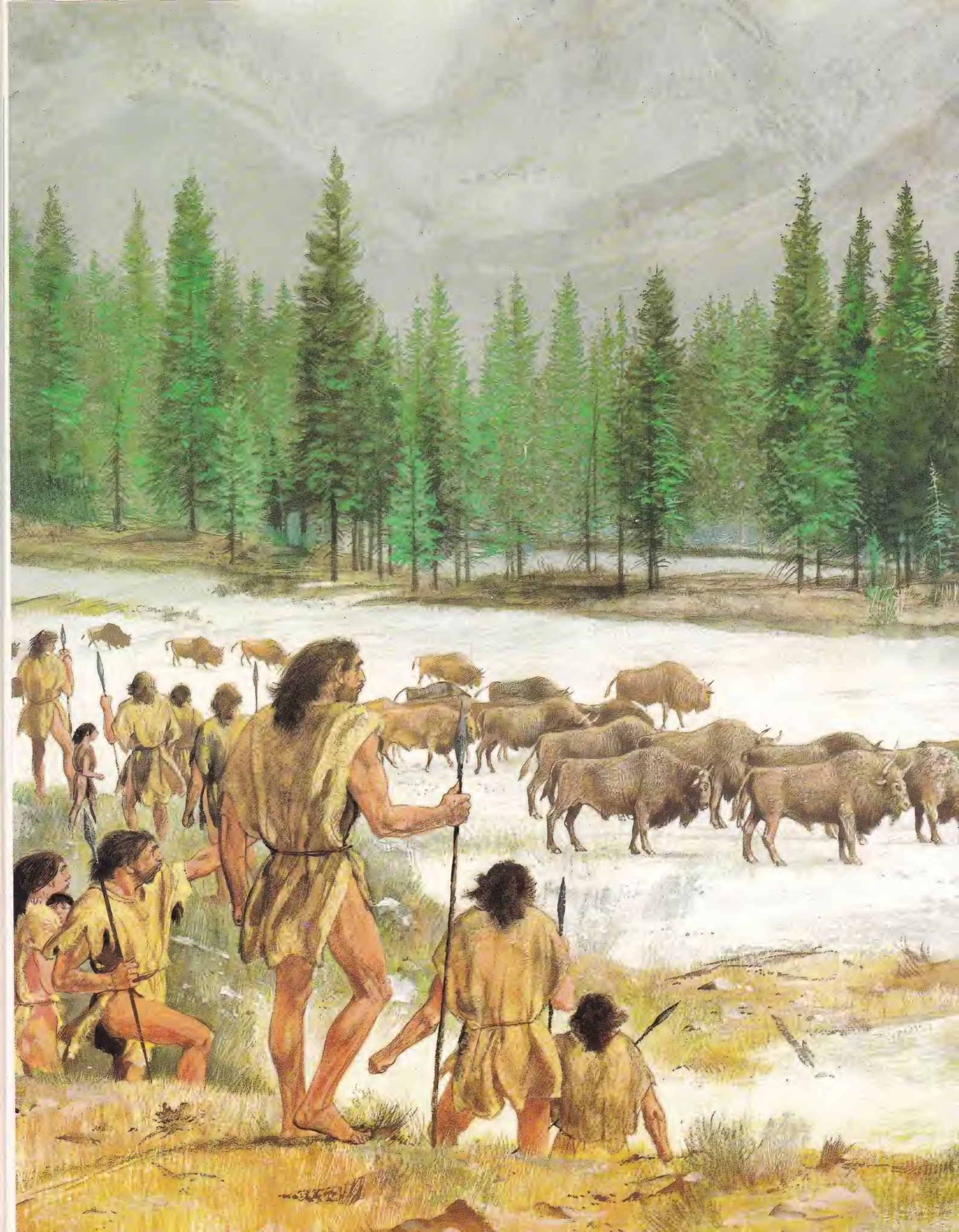
Durch die ganze Vorgeschichte der Menschheit hindurch fehlt es an fossilen Beweisstücken, die auf Mischehen zwischen zwei uns bekannten Menschenarten deuten. Dennoch gibt es, um den zeitgenössischen englischen Anthropologen Ashley Montagu zu zitieren, „da die Populationen der ersten Menschen sehr klein waren, guten Grund zu glauben, daß, wann immer solche Populationen sich trafen, sie genau das taten, was moderne Populationen tun würden – nämlich untereinander zu heiraten". Einige der zahlreichen Funde aus Palästina scheinen genau dies anzudeuten, da es sich bei diesen Funden um Individuen mit gemischten Merkmalen handelt. Einige besonders auffällige Merkmale findet man an vielen, aber eben nicht an allen Individuen. Dennoch haben alle diese Skelette eine gewisse Zahl von Merkmalen gemeinsam: eine (relativ geringe) Längung des Schädels, vorgewölbte Zahnbögen (Prognathie), Überaugenwülste mit einigermaßen flacher Brauenkurve, eine Andeutung der (weiter vorn erwähnten) Fossa canina und ein ausgeprägtes Kinn. Die allgemeine Skelettstruktur ist weniger massig als diejenige des klassischen Neandertalers.

Daß wir die Erben dieser fernen Mischarten sein könnten, ist eine unheimliche Hypothese, die jedoch von einigen Wissenschaftlern vertreten wird. Hat der Mensch von heute also tatsächlich ein Quentchen Neandertalerblut in seinen Adern? Man nimmt heute allgemein an, daß das Neandertalererbgut aus den Höhlen des Gebirgszugs Karmel eine schrittweise Absorbierung erfuhr, nicht jedoch im strengen Sinne ausgestorben ist. In den folgenden Zeitaltern hätte sich dann nur der Typus Homo sapiens sapiens fortentwickelt.

Wir können gewiß nicht sagen, daß dieses Problem schon gelöst sei. Es wird zudem noch kompliziert durch die Tatsache, daß die folgenden europäischen Kulturen, die spezifischer mit dem Typus Homo sapiens sapiens verbunden sind, Spuren der Tradition des Moustérien zeigen – derjenigen Kultur, die ihren Höhepunkt durch den Neandertaler und mit diesem erreichte.

Die Funde am Karmel beziehen sich auf eine einigermaßen ausgedehnte Zeitspanne, die ganze zweite Würm-Vereisungsphase, obwohl die letzten Überreste mit einem gewissen Unsicherheitsfaktor auf die Zeit vor 12 000 bis 10 000 Jahren v. Chr. datiert werden. Wie dem auch sei, wir stehen mit diesen Ablagerungen vor einer ähnlichen Situation wie mit den Beziehungen zwischen dem Homo habilis und dem Dart-Hominiden vom Typ P anderthalb Millionen Jahre zuvor in Afrika. Da aber das Ende des Neandertalers unserer eigenen Zeit näherliegt, ist dieses Problem für uns erheblich interessanter.





Homo sapiens

Eine halbe Million Jahre

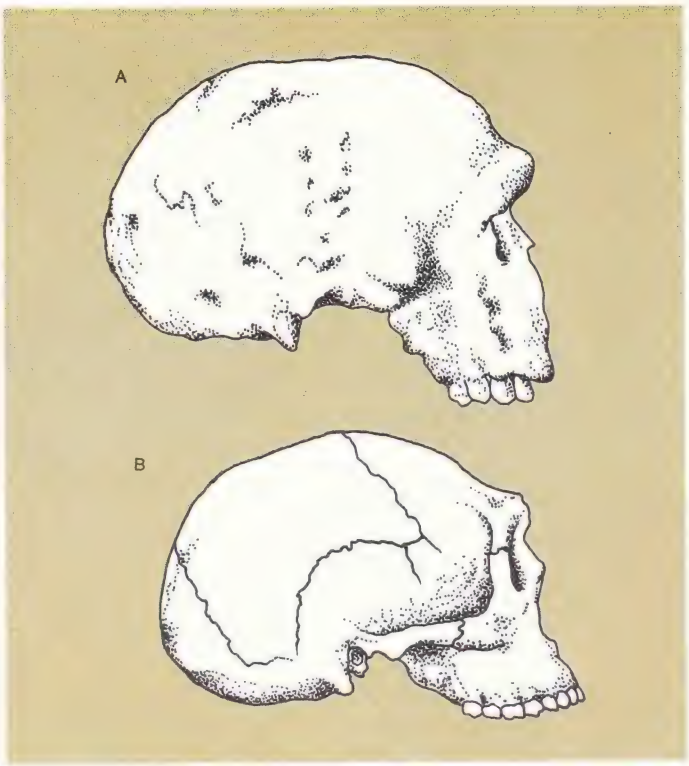
Wir haben eben von einem Menschen erfahren, der dem heutigen Menschen sehr ähnlich war und dessen Überreste am Fuße des Karmels zusammen mit den Überresten einiger späterer Vertreter des Neandertalertypus gefunden wurden. Wir wissen auch, daß dieser Mensch vielleicht kaum mehr als 12 000 Jahre vor unserer eigenen Zeit lebte. Jetzt wollen wir versuchen die Geschichte des Menschentyps, dem wir mit ziemlicher Sicherheit selbst angehören, zurückzuverfolgen.

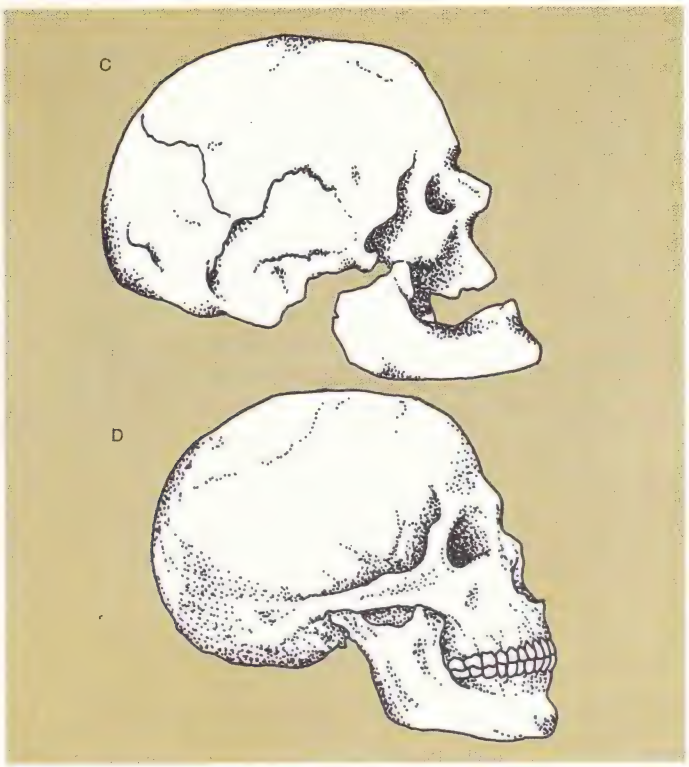
Bis vor einigen Jahrzehnten wäre ein solches Unterfangen nahezu unmöglich gewesen. Zwar fehlte es nicht an geeigneten Theorien, die auf dem basierten, was damals als Wahrheit galt, aber es handelte sich hierbei jedoch lediglich um vorgefaßte Meinungen ohne jegliche Beweiskraft.

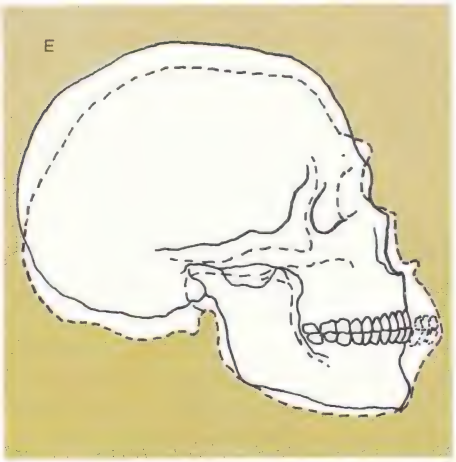
Das konservative Argument hatte seinen Ursprung in einer niemals offen eingestandenen Überzeugung, die besagt, daß der Mensch von heute notwendigerweise das letzte und vollkommenste Glied einer sehr langen Kette sei. Einige betrachteten unsere Art sogar als den letzten Stromabschnitt eines Flusses, der nach vielfältigem Hin und Her schließlich ein breites Delta erreicht hat, ehe er sich ins Meer ergießt. Mögen nun Flußarme, wie es häufig geschieht, in den Deltasümpfen enden, es genügt ja wohl, wenn auch nur einer von ihnen das Meer erreicht. Etwas sehr Ähnliches hat vermutlich in diesem letzten Abschnitt der Geschichte der menschlichen Evolution stattgefunden: Nur einer der Flüsse, in die sich der große Strom der Menschheit geteilt hat, ist in das Meer der Gegenwart eingemündet.

Diejenige Geisteshaltung, die den modernen Menschen für einmalig hielt und in ihm das Endergebnis sah, für das alle anderen Arten nur direkte Vorfahren gewesen sein könnten, mußte notwendig in gedanklicher Verwirrung enden. Das Beispiel des Neandertalers ist hierfür sehr typisch: Zuerst hielt man ihn für eine gesonderte Art, danach wurde er unserer eigenen Art zugeordnet, und zuletzt (wir nehmen an, daß es diesmal stimmt) wurde er als eine Unterart (Homo sapiens neanderthalensis) identifiziert, die aus noch unbekannten Gründen ausstarb oder langsam verschwand.

Als nomadisierender Jäger durchstreifte der Neandertaler auf den Spuren des Wilds ganz Europa. Zur Zeit ist noch nicht geklärt, ob er auch die Landbrücke überquert hat, die es einst zwischen Nordamerika und Asien gab (an der Stelle, an der heute die Beringstraße verläuft).







Die beiden oberen Bilder: Die Schädel von Swanscombe (A) und Steinheim (B), die eine Beschreibung des Homo sapiens praesapiens ermöglichten. Rechts daneben der Schädel des Cromagnonmenschen (C) und des heutigen Menschen (D).

Oben (E): Grundmodell des Schädels eines heutigen Menschen (gerade Linie) im Verhältnis zum Neandertaler (gestrichelte Linie).

Die radikalste Theorie besagt, daß die Neandertaler zumindest in Westeuropa von den direkten Vorfahren des heutigen Menschen ausgerottet worden seien. Nach einer anderen Theorie stellte der klassische westeuropäische Neandertaler eine isolierte Art dar, die von dem allgemeinen Genpool der Neandertaler abgeschnitten wurde und darum mit schicksalhafter Notwendigkeit in einer evolutionären Sackgasse enden mußte. Eine dritte Theorie geht davon aus, daß die Neandertaler von Invasoren überwältigt und kulturell unterworfen wurden. Unterdessen könnten sich einige der Neandertaler im Nahen Osten in Richtung auf den Homo sapiens sapiens hin entwickelt oder sich mit diesem vermischt haben. Doch auch diese Hypothesen stellen drastische Vereinfachungen dar.

Die direkte Abstammungslinie des „modernen Menschen" *(Homo sapiens sapiens)* gleicht jenen angedeuteten Linienmustern aus numerierten Punkten, welche, wenn man sie miteinander verbindet, ein Bild darstellen. Die angedeutete Linie dieses Bildes ist sehr lang, und es befinden sich darin große Lücken. Wir können sie jedoch bis vor etwa 450 000 Jahren oder noch weiter zurückverfolgen. Die einzelnen Fossilien, die den Punkten entsprechen, sind entweder diejenigen, die wir bereits kennen, oder diejenigen, die erst in den letzten 40 Jahren richtig identifiziert wurden.

Manche der Fossilienfunde der letzten Zeit sind die allerältesten überhaupt. Besonders bemerkenswert ist ein Hinterhauptsknochen, der 1965 in *Vértesszőllős,* in der Nähe von Budapest, entdeckt wurde. Es ist durchaus möglich, daß sein früherer „Besitzer" schon das *Feuer* benutzt hat, auch wenn er es vielleicht nur am Brennen zu halten vermochte, ohne zu wissen, wie man ein Feuer anzündet.

Die Schicht, aus der der Knochen stammt, wird auf eine kurze, gemäßigte Periode während der Mindel-Vereisung vor etwa 500 000 Jahren datiert. Der Schädelknochen deutet auf einen Menschentyp hin, der dem heutigen Homo sapiens sapiens ziemlich ähnlich sah. Die Kurve des Schädelinneren weist auf eine relativ hohe Gehirnkapazität. Was die direkte Abstammungslinie des Homo sapiens sapiens betrifft, so gilt dieser Fund als ältestes fossiles Dokument. Der „Besitzer" des Schädels verwendete wahrscheinlich schon grob behauene Steine als Hauwerkzeuge.

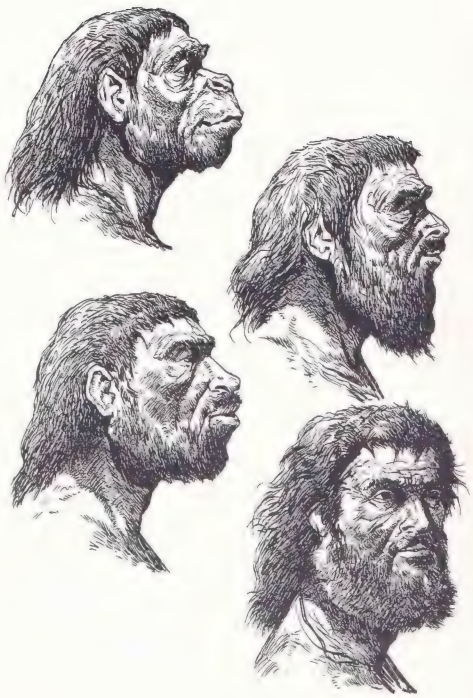
In den 30er Jahren unseres Jahrhunderts und wieder im Jahre 1955 wurden im Themsetal bei *Swanscombe* in England weitere interessante menschliche Überreste entdeckt. Der Paläontologe Le Gros Clark schätzte das Schädelfassungsvermögen dieses Fossils auf 1 325 cm^3. Tierüberreste, die in der gleichen Ablagerung gefunden wurden, stammten einwandfrei aus der Mindel-Riß-Warmzeit.

Der Schädel dieses *Swanscombemenschen* – man fand lediglich drei Knochen von der Schädeldecke und vom Hinterhaupt – weist fast die Proportionen und Rundungen auf wie der Schädel des heutigen Menschen. Er zeigt kaum Ähnlichkeit mit dem Heidelbergmenschen und auch nicht mit dem späteren klassischen Neandertalertypus, der kein Kinn hatte, dafür aber massige, stark ausgeprägte Überaugenwülste. Die zusammenhängenden kulturellen Funde von Swanscombe, die dem Bereich des Acheuléen zugeordnet werden, bestehen aus Handkeulen, Haumessern und Schabern.

Einen weiteren Schädel, wahrscheinlich den einer Frau, fand man 1933 bei *Steinheim an der Murr* in Deutschland. Dieser Schädel stammt ebenfalls aus der Mindel-Riß-Warmzeit. Bei diesem Schädel *(Steinheimmensch)* sind die Überaugenwülste ausgeprägter als beim Swanscombemenschen.

Auch in Kanjera, Ostafrika, fand man Bruchstücke von vier Schädeln, die sich allerdings in einer sehr schlechten Verfassung befanden. Sie sind der Form nach menschlich und dem Familienstammbaum des heutigen Homo sapiens sapiens einzufügen. Man schätzt ihr Alter auf rund 400 000 Jahre.

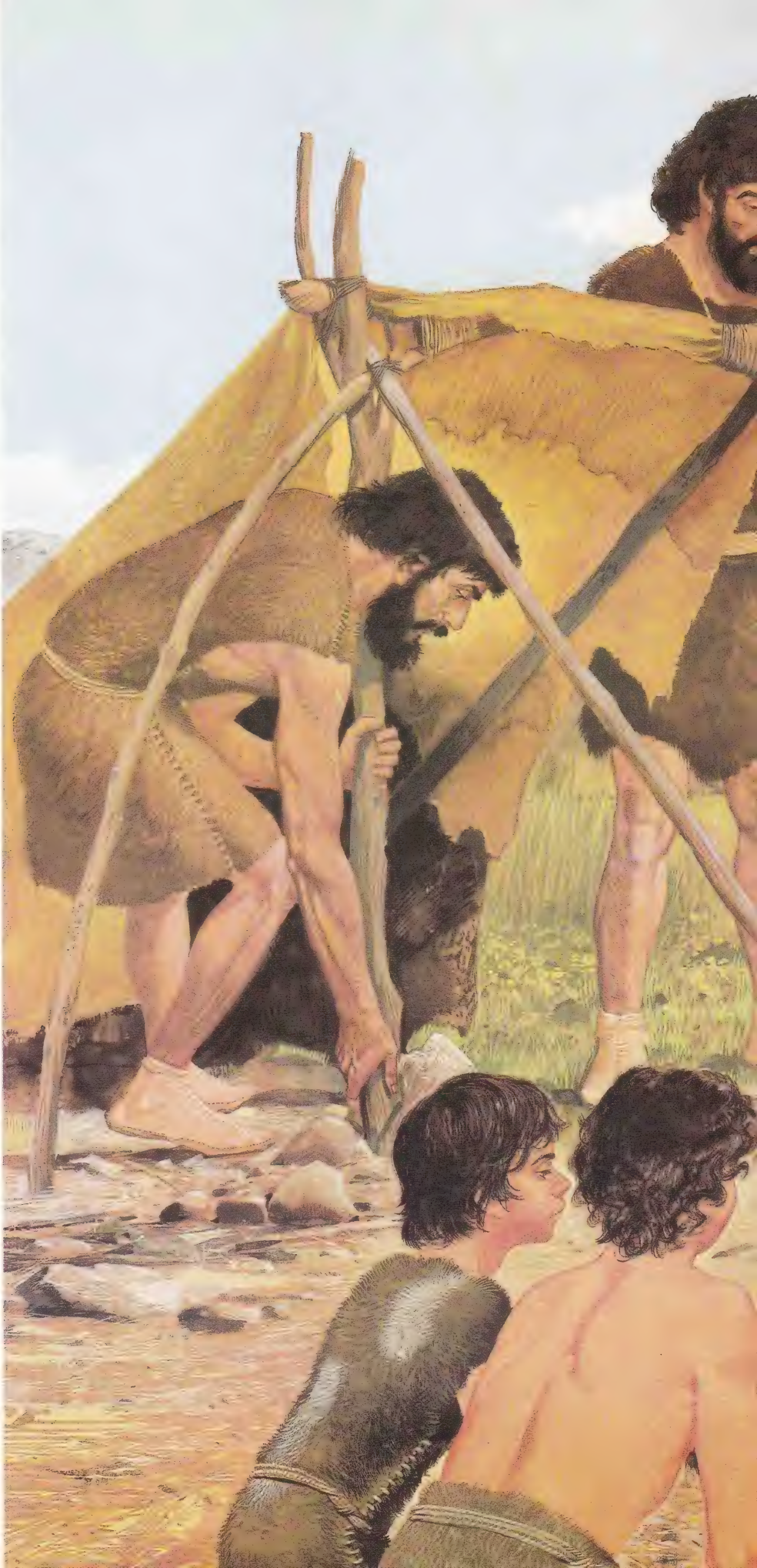
Alle diese Funde ergeben eine Gruppe von Fossilien, die entweder als „früheste Erscheinungsform" des Homo sapiens sapiens oder als „Zwischentypus" bezeichnet werden. Im allgemeinen werden sie auf die Zeit vor den klassischen Neandertalern datiert. Der Zwischentypus ist eine interessante Mischung aus typischen Neandertaler- und typischen Homo-sapiens-sapiens-Merkmalen.



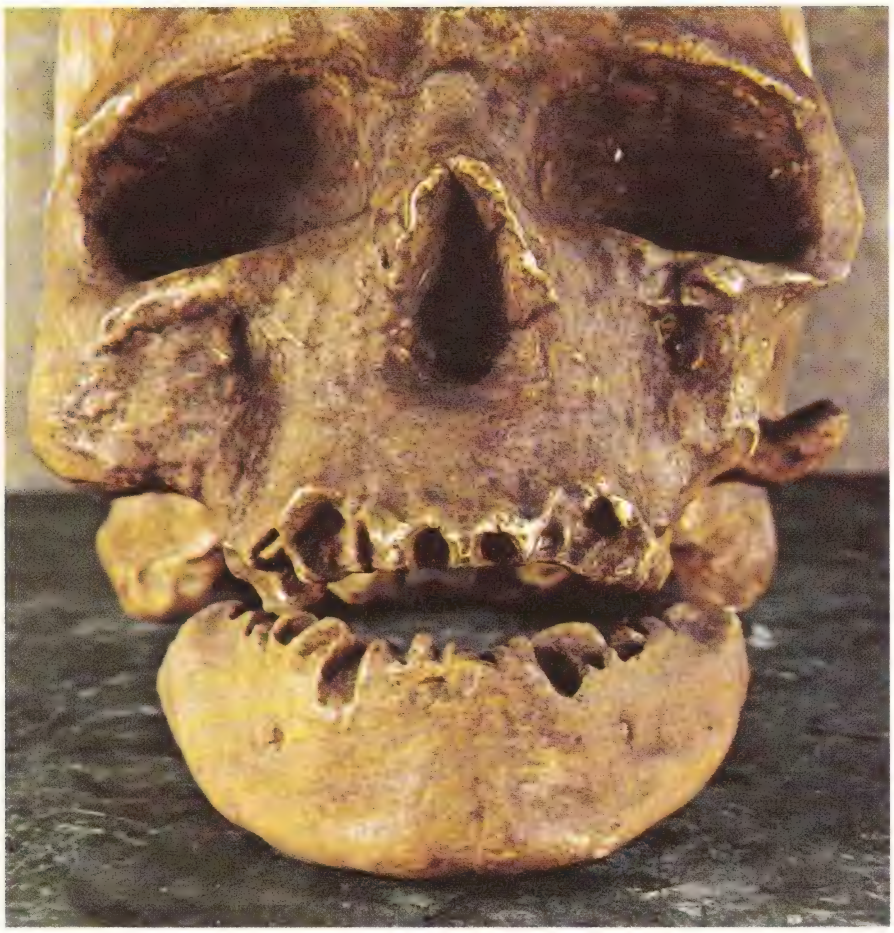
Rekonstruktion von vier Hominiden, die jeweils bedeutsame Phasen in der menschlichen Evolution zum Homo sapiens sapiens darstellen; von links oben nach rechts unten: Australopithecus africanus, Homo sapiens praesapiens, Neandertaler, Cromagnonmensch.

Der ehrwürdige Alte

Wir sind nunmehr bei dem ersten Menschen angelangt, von dem wir sagen können, daß er uns fast ähnlich sieht. Die einzigen Unterschiede, die noch vorhanden sind, liegen in der Größe seiner Körperteile, besonders aber in der Schädelkapazität. Keiner dieser Unterschiede ist jedoch so ausgeprägt, daß er einen sehr großen Abstand zwischen ihm und uns begründen würde. Wir sprechen vom *Cromagnonmenschen,* so benannt nach dem Ort *Cro-Magnon* in der Dordogne (Frankreich), wo im Jahre 1868 das erste Skelett dieses Menschentyps gefunden wurde. Auf Grund dieser Entdeckung war es möglich, eine Beschreibung zu erstellen, die die Ähnlichkeit zwischen dieser Menschenart und uns selbst deutlich macht.



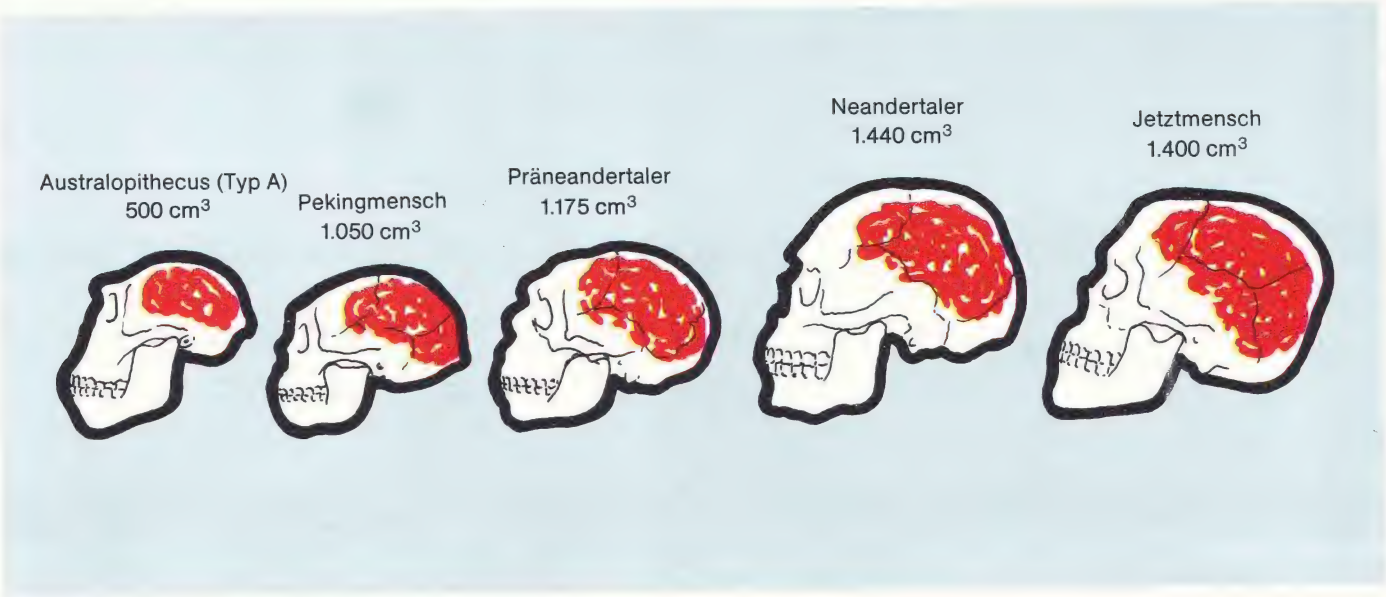
Unter den Cromagnonmenschen gab es auch „Senioren", die den jungen Menschen die Herstellung von Werkzeugen beibrachten.



Schädel des „Alten von Cro-Magnon" mit erkennbaren Spuren altersbedingten Zahnausfalls.

Der Cromagnonmensch war hochgewachsen und hatte kräftige, jedoch keine massigen Knochen. Sein Schädel war kaum länger als der unsere. Die Augenhöhlen waren groß und viereckig. Dem zuerst entdeckten Exemplar fehlten die meisten Zähne. Er hatte sie wahrscheinlich altersbedingt verloren; denn es handelte sich bei diesem Fund um einen alten Mann („le vieillard"). Wir könnten ihn sogar als unser aller „Großvater" betrachten.

Der Cromagnontypus wurde als Unterart *Homo sapiens fossilis* klassifiziert, um deutlich zu machen, daß der einzige wirkliche Unterschied zwischen ihm und uns sein hohes Alter ist. Im Cromagnonmenschen begegnen wir zum ersten Mal einem Menschen aus einer weit zurückliegenden Zeit, der wirklich ein hohes Lebensalter erreichte. Die meisten anderen Exemplare, die wir im Laufe unserer Bemühungen, die Geschichte der menschlichen Evolution zu erforschen, entdeckt haben, waren jung, viele von ihnen nicht einmal erwachsen. Das Skelett dieses alten Mannes beweist, daß zu seiner Zeit die Lebensbedingungen sich bereits erheblich verbessert hatten. Es verrät uns auch etwas über die wahrscheinliche Vergrößerung der Gruppe. In früheren Zeitaltern starben die jüngeren Mitglieder einer Gruppe oft schon, bevor sie das Fortpflanzungsalter erreicht hatten. Darin zeigt sich eines der Probleme, mit denen eine sich langsam weiterentwickelnde Gruppe zu kämpfen hatte. Die Menschenaffen z. B. sind in der Lage, sich im Alter von etwa 10



Maßstabsgerechte Darstellung der durchschnittlichen Schädelkapazität verschiedener Hominiden.

bis 12 Jahren fortzupflanzen. Ähnliches gilt vielleicht für den Australopithecus, dessen Fortpflanzungsalter in etwa in der gleichen Zeitspanne anzusetzen ist.

Für die Vertreter der Gattung Homo nahmen durch die Verbesserung der allgemeinen Lebensbedingungen und auf Grund einer relativen Spezialisation die fortpflanzungsfähigen Jahre bedeutend zu. Nur so war es möglich, daß die Anzahl der Gruppenmitglieder sich allmählich vergrößerte und die frühere Durchschnittszahl von 20 schließlich weit übertraf. In diesen frühen Zeiten war immer die Gefahr des Aussterbens gegeben. Mit dem Auftauchen des Homo sapiens fossilis jedoch, der es schaffte, alt zu werden und Kinder und Enkelkinder zu haben, die den Weiterbestand der Sippe garantierten, scheint diese Gefahr gebannt zu sein.

Die ältesten Fossilexemplare, die 1909 in *Combe-Capelle* in der Dordogne gefunden wurden, werden auf rund 35 000 v. Chr., also auf den Anfang der zweiten Würm-Vereisungsphase, datiert. Die Cromagnonmenschen lebten bis vor ungefähr 20 000 Jahren.

Die etwas „moderner" aussehenden Fossilien aus den Höhlen des Karmel in Palästina sind vom Typ her ebenfalls cromagnonähnlich. Von besonderer Bedeutung sind jedoch diejenigen Exemplare, die in *Düsseldorf-Oberkassel* ausgegraben wurden und deren Alter man auf 17 000 bis 12 000 Jahre schätzt. Ihre Bedeutung liegt in gewissen Eigentümlichkeiten der Schädelstruktur (wenn diese auch nicht so stark ausgeprägt sind, daß sie eine neue Unterart rechtfertigen würden): Dieser Menschentyp verfügte nämlich über sehr breite Backen- und Kieferknochen.

Zu Beginn dieser Periode (die mehr oder weniger mit der zweiten Würm-Vereisungsphase übereinstimmt) tauchten nach und nach alle die typischen Merkmale des heutigen Menschen auf, einschließlich derjenigen, welche die unterschiedlichen Rassengruppen, die wir heute kennen, charakterisieren.

Aus diesem ganzen fossilen Material aus der Zeit vor 500 000 Jahren bis etwa 15 000 Jahren haben die Anthropologen eine Reihe komplexer

und differenzierter Muster aufgestellt. Tatsächlich machen die Anthropologen in dieser Hinsicht immer noch Überstunden. Kein Muster oder Modell hat bis jetzt das Monopol.

Eines der interessantesten Modelle findet sich in der sogenannten *Spektrumtheorie* (nach Weiner, 1958). Danach existierten seit der Zeit des Swanscombemenschen verschiedene Gruppen der Gattung Homo zu verschiedenen Zeiten an verschiedenen Orten. Einige dieser Gruppen neigten dazu, sich in Richtung auf den Neandertaler oder seine engeren Verwandten hin zu entwickeln. Andere Gruppen entwickelten sich in Richtung auf den modernen Menschen, den Homo sapiens sapiens. Wie immer die Dinge liegen mögen, heute wird die ganze Erde von einer einzigen Menschenart, eben diesem Homo sapiens sapiens, bevölkert, der direkt mit dem Cromagnonmenschen verwandt ist.

Die ersten Exemplare von Homo sapiens, die man auf dem amerikanischen Kontinent fand, werden ebenfalls der Unterart Homo sapiens fossilis zugerechnet. Ein Schädel, wahrscheinlich der einer Frau, wurde bei Punín (Ecuador) gefunden. Sein Alter wird auf 10 000 Jahre geschätzt. Wir wissen immer noch nicht, welche Phasen vor diesen Exemplaren liegen. Als sicher gilt jedoch, daß in relativ kurz zurückliegender Zeit, wahrscheinlich vor 15 000 Jahren, Ströme von Cromagnonvölkern in den amerikanischen Kontinent von Asien aus einwanderten, und zwar über die Beringlandbrücke. Sie könnten dort durchaus auf ältere ansässige Populationen gestoßen sein.

Der Paläoanthropologe Leakey wagte eine bemerkenswerte Voraussage: Wenn die Forschung im gegenwärtigen Tempo fortfahre und so erfolgreich wie bisher sei, würden wir noch vor dem Ende des 20. Jahrhunderts wissen, wer der erste Amerikaner war.

Alle von einer Art

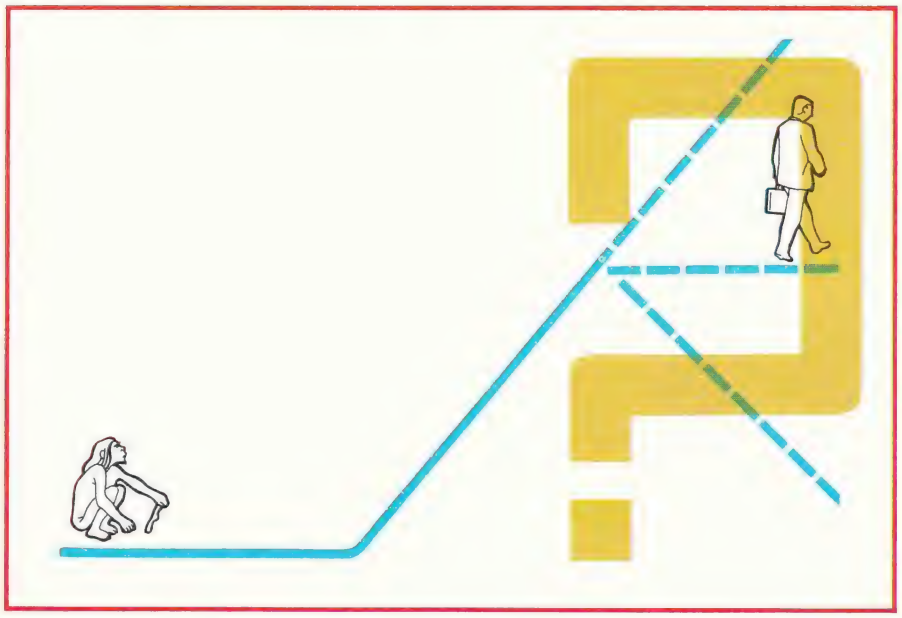
Beim Betrachten einer Landkarte mit den Knochen- und Werkzeugfunden, die man mit Homo sapiens fossilis in Europa, Asien und Afrika verbindet, wird deutlich, wie weit verbreitet der Cromagnontypus war. Die lokalen Variationen innerhalb einer Rasse oder unter koexistierenden Rassen von heute helfen uns, die damals stattfindende Ausbreitung, Vervielfältigung und Ausdifferenzierung der menschlichen Rassen, die heute unseren Planeten bevölkern, zu verstehen.

Die oberflächlichen Unterschiede zwischen den heutigen Menschenrassen ergeben sich alle aus Variationen einiger weniger Merkmale: Körperbehaarung, Art und Farbe der Kopfhaare, Hautfarbe, Körpergröße, Nasenform, Anordnung und Konturierung der Backenknochen, Augenform.

Anders liegen die Dinge, wenn man den Schädel eines Menschen von heute mit dem Schädel eines Neandertalers vergleicht. Es gibt geringfügige Abwandlungen unter den heutigen Schädelformen (vorstehende oder gerundete Backenknochen, mehr oder weniger ausgebildete Prognathie usw.), es gibt jedoch bei keinem Menschen von heute die kräftig ausgebildeten Überaugenwülste des Neandertalers. Andererseits weist unser Schädel im Gegensatz zum Neandertalerschädel immer eine ausgeprägte Fossa canina auf und ein vorspringendes Kinn.

Kulturen und auch Zivilisationen entwickeln ihre eigenen Merkmale. An Hand dieser Merkmale kann man die verschiedenen Wege, die der Mensch eingeschlagen hat, als er seine besondere Beziehung zur Natur und zur Umwelt entwickelte, verfolgen. Vielleicht sollte die Geschichte

Heute gehört die ganze Menschheit einer einzigen Unterart an: Homo sapiens sapiens.



Das rapide Voranschreiten der menschlichen Evolution ermöglichte es dem Homo habilis, sich in kaum mehr als einer Million Jahren zum heutigen Menschen zu entwickeln. Vielleicht steht es in der Macht des Homo sapiens sapiens, den zukünftigen Kurs seiner eigenen Evolution zu steuern.

der Zivilisation in der Weise neu geschrieben werden, daß wir die intensive und oft schmerzhafte Auseinandersetzung des Menschen mit seiner Umwelt in ihren kritischen Phasen verfolgen können: eine Auseinandersetzung, die darin besteht, daß er durch Jahrtausende hindurch versuchte, die Welt zu erobern.

Der letzte Zweig

Wir haben einen wesentlichen Teil der Geschichte des Menschen rekonstruiert, denjenigen Abschnitt nämlich, in welchem er sich aus dem vorgeschichtlichen Dunkel bis an die Anfänge seiner geschichtlichen Existenz erhob. Wir wissen jetzt, daß dieser Prozeß der Evolution weder geradlinig noch einfach war. Unser Zweig am Lebensbaum ist noch im Wachsen begriffen. Es wird unsere vordringlichste Aufgabe sein, nach Mitteln und Wegen zu suchen, wie man verhindern kann, daß dieser Zweig vorzeitig abstirbt.

Man sollte den Menschen nicht als das betrachten, was er ist, sondern als das, was er sein wird. Dies erst macht die grundlegenden Komponenten sichtbar, die ihn Schritt für Schritt zu dem werden ließen, was er heute ist. Sie haben auf mancherlei Art sein gesamtes Vorgehen geleitet und sämtliche Veränderungen (sogar die dem Anschein nach bedeutungslosesten) geprägt, auf denen auch seine jüngste Geschichte basiert.

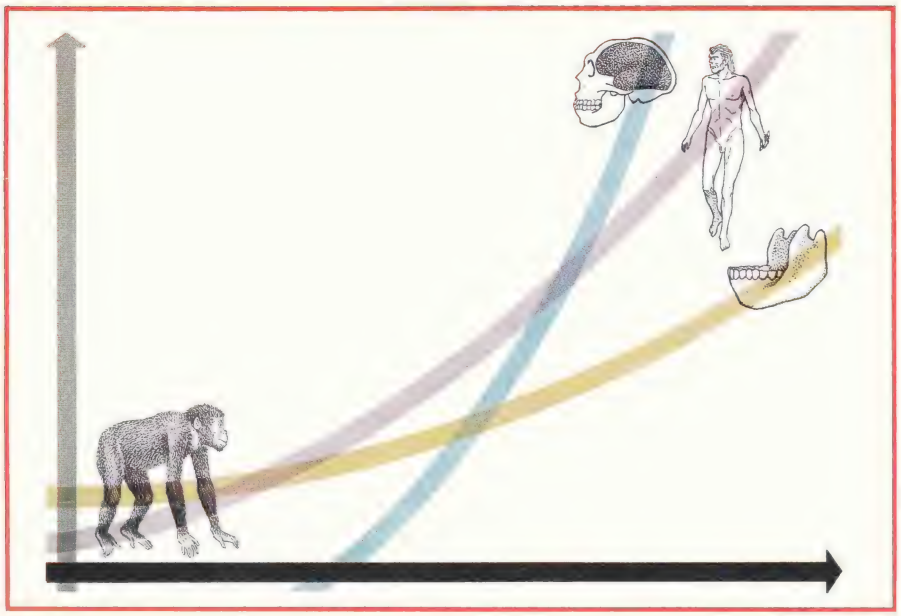
Der Mensch und sein Verhältnis zur Natur

Spezialisierung

Wir brauchen uns nun nicht mehr darum zu bemühen herauszufinden, wie und wann der Hominide sich zum Menschen entwickelt hat, d. h., wann er zu denken begonnen hat. Statt dessen ist es nötig, sich die Kulissen, vor denen sich erstmals eine Gedankentätigkeit entfaltet hat, vorzustellen; vor allem sind dabei auch die ersten Reaktionen der Handelnden in dieser Begegnung wichtig. Natürlich können wir nicht Schritt für Schritt nachvollziehen, wie die menschliche Intelligenz „in die Welt kam" (denn dies impliziert, daß wir uns mit Mikromutationen über mehr als 500 000 Generationen hinweg beschäftigen müßten). Wir können nur die Höhepunkte abschätzen und beurteilen. Aber wir wissen dabei auch, daß die Wechselbeziehungen zwischen Umwelt und Mensch ein Kontinuum darstellen.

Wir wurden bereits mit der Tatsache konfrontiert, daß der Mensch seine Umwelt in einer Weise erfuhr, wie es bei keiner anderen Art zuvor der Fall war. Die Beziehungen zwischen ihm und seiner Naturumwelt wurden besonders durch seine Sozialumwelt verändert. Eine entscheidende Rolle im beschleunigten Gang seiner Entwicklung spielte hierbei die Gründung kleiner Gemeinschaften. In solchen Gemeinschaften tragen die menschlichen Verhaltensweisen feste und stereotypische Züge, wenn wir etwa an die Beziehungen zwischen Mann und Frau oder zwischen Eltern und Kindern denken. Die Sorge der Eltern und die Beziehungen, welche ihrer Natur nach wechselseitige Zuneigung oder Anerkennung mit sich bringen, führen zu einem merklichen Anstieg der intellektuellen Beweglichkeit.

Wie wir bereits sagten, zähmte der Mensch sich sozusagen selbst. Das Volumen seines Gehirns nahm zu und zugleich (in noch stärkerem Maße) die Fähigkeit, von diesem *Gehirn* Gebrauch zu machen. Der Australopithecus, besonders Typ A, machte sich auf, neue Bereiche zu erobern. Das Konzept der Eroberung gewann immer größere Bedeutung für den Menschen. Obwohl er sich dessen nicht bewußt war, entwickelte sich bereits eine Form der Spezialisierung in ihm, die sich von allen Arten der Spezialisierung bei anderen Tieren unterschied. Der Mensch wurde nicht stärker, größer oder schneller. Dennoch erreichte er all dies und



Im Laufe der menschlichen Evolution nahm die Schädelkapazität rapide zu – eine Entwicklung, die ziemlich spät anfing. Der aufrechte Gang entwickelte sich weniger schnell, und die Evolution der Zähne, die früh begann, vollzog sich relativ langsam.

vieles mehr, weil es Teil seiner eigenen besonderen Spezialisierung war: seiner *Intelligenz*.

In unserer Geschichte der anderen Primaten haben wir betont, daß diese an dem Stammbaum der Primatenentwicklung relativ niedrig anzusetzen seien – im Vergleich zum Menschen. Ihre Formen von Spezialisierung, so ganz anders als bei uns, bestehen darin, daß diese Primaten sich an ihre jeweilige spezifische Nische angepaßt haben. Der Mensch dagegen ist in Hunderte von Nischen eingebrochen und fand immer wieder Mittel und Wege, sich in jeder einzelnen anzupassen. Es lag an diesem „erlernten" Verhalten und der raschen Evolution, daß der Mensch immer wieder neue „Lösungen" zur Bewältigung seiner Anpassungsprobleme entwickelte, so daß seine Anpassungsfähigkeit schließlich so breit gefächert war. Jede folgende Generation konnte zugleich aus äußerer eigener Erfahrung und aus überkommenem Erbgut Nutzen ziehen und den Nachkommen jeweils eine Fülle von Informationen weitergeben, die dann neue Veränderungen und abermals neue Veränderungen Jahrtausende hindurch bewirkten. Am wichtigsten war dabei die Intelligenz, die diese Weitergabe von Umweltinformationen möglich machte – Informationen, die unter feindseligen Bedingungen für das Überleben notwendig waren.

Die genetische Information, überreich in ihrer Vielfalt, ermöglichte es vielen der Myriaden von Lebensformen, zu blühen und zu gedeihen, und verdammte andere dazu, auszusterben. So konnte es z. B. geschehen, daß die Riesenreptilien (die Dinosaurier und ihre Verwandten) nach Jahrmillionen der Erdbeherrschung von der Bühne des Lebens verschwanden, weil sich das Klima drastisch veränderte, während andere, anpassungsfähigere Lebensformen aus dieser Zeit überlebt haben, wenn auch in veränderter Gestalt.

Der Hominide konnte die Fähigkeit entwickeln, zu lernen; gleichwohl mußte jede Generation neue, eigene Erfahrungen sammeln. Dies ist in der Tat keine schlechte Situation. Die Notwendigkeit, immer wieder neu

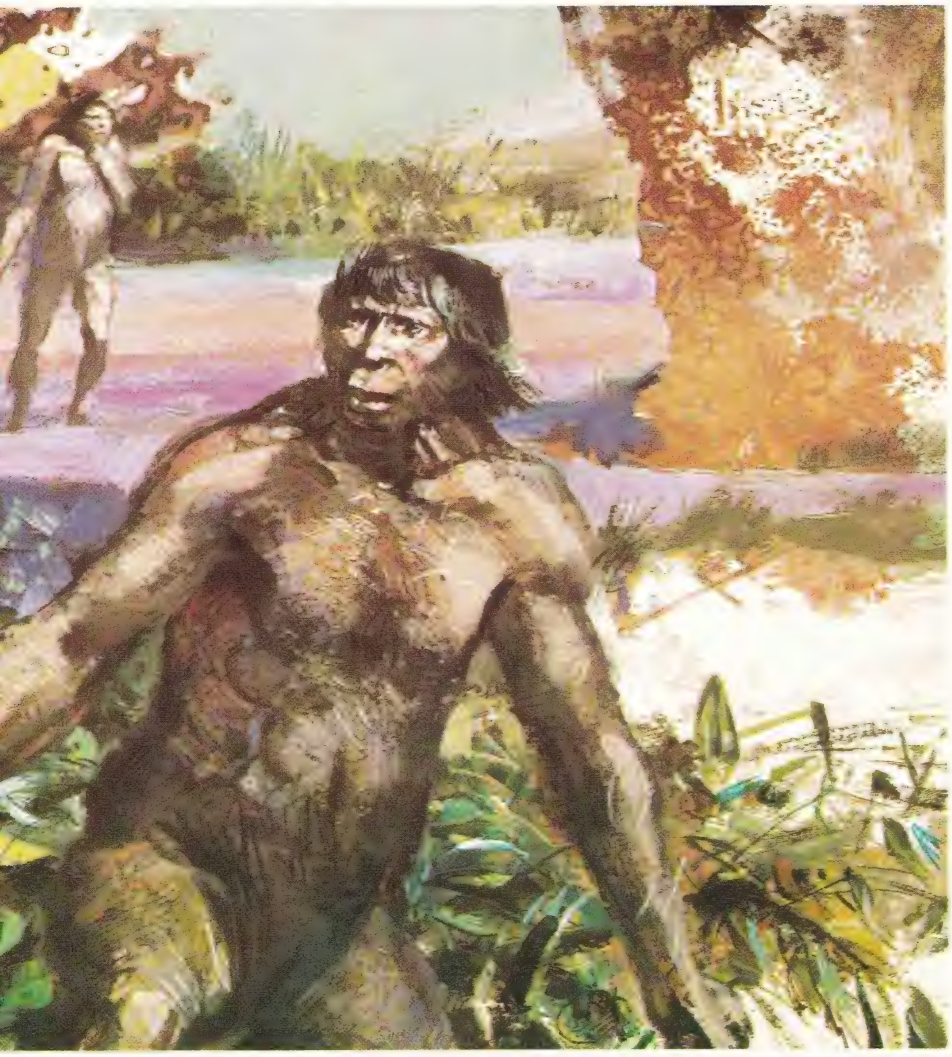
Links: Der Mensch in seiner natürlichen Umgebung; eine Familie auf der Philippineninsel Mindanao.

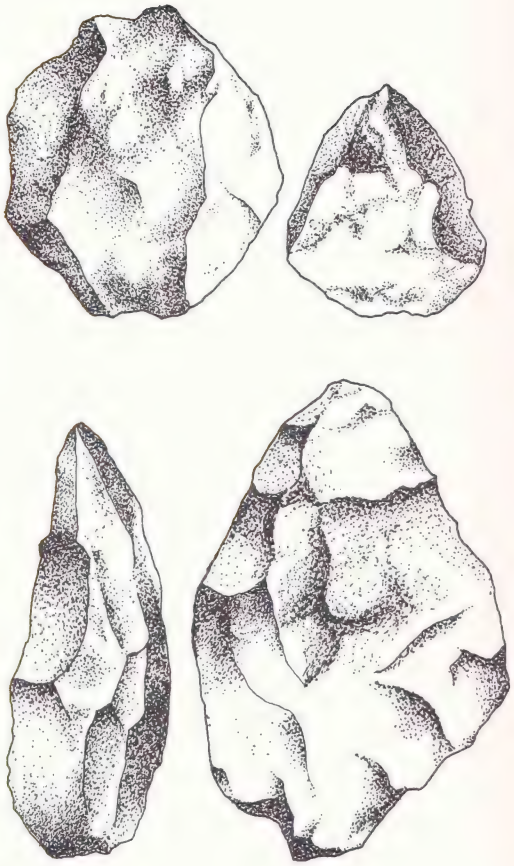
Unten: Der Mensch gegen die Natur. Rodung an der Elfenbeinküste.

Durch Verwendung aller Arten von Gegenständen suchte der Mensch seine körperlichen Möglichkeiten zu erweitern. Dank seiner Werkzeuge kam er selten mit seiner Beute in direkten Kontakt. Vielleicht verlor der Mensch in dieser Phase seine natürlichen Hemmungen, Mitglieder seiner eigenen Art zu töten.

zu lernen, trug eher dazu bei, daß sich die intellektuellen Fähigkeiten weiterentwickelten – in den frühen Tagen in ganz konkreter Form: durch *Zunahme des Gehirns* hinsichtlich Größe und Aktivität. Die beiden Faktoren „Umwelt" und „Entwicklung" erlaubten dem einzelnen, mehr zu lernen als der andere. Dies führte zu einer beständig zunehmenden intellektuellen Spezialisierung. In seiner Physis jedoch blieb der Mensch schwach, erheblich schwächer jedenfalls als jene Vettern, von denen die Hominidenfamilie sich vor langer, langer Zeit getrennt hatte.

Der Mensch hatte Merkmale und Fähigkeiten von der Art entwickelt, die wir als „mittelmäßig" bezeichnen würden: Er ist in vielen, sehr vielen Dingen recht geschickt, aber in keiner Hinsicht überragend. Die Natur ist ihm gegenüber eher feindselig als wohlwollend; sie schränkt ihn eher ein und diszipliniert ihn, als ihn zu fördern. Mit diesem Bewußtsein, daß er körperlich schwach und eine leichte Beute für stärkere Arten war, entdeckte der Mensch sehr früh, daß er sich nicht auf eine einzige Nahrungsquelle verlassen und spezialisieren durfte. Er erkannte z. B., daß seine jagdlichen Fähigkeiten keinen Vergleich etwa mit denen des Säbelzahntigers aushielten. Seine Lebensform begann sich zu verändern (und zu entwickeln) dank seiner Fähigkeit, seine Schwächen zu





Oben: Werkzeuge aus Padjitan (Java): grober Schaber, Hauwerkzeug und Handbeil.

erkennen. Diese Fähigkeit machte ihn andererseits letztlich den Raubtieren überlegen, die nun, statt ihn zu töten, seine Opfer wurden.

In seinem Kampf mit der allmächtigen, unwandelbaren Natur mit ihrem „Jahrmillionenrückgrat" erkannte der Mensch, daß er ein neues Element einführen konnte und mehr packen konnte, als die Natur ihm überließ. Er wählte den einzigen Weg, der ihm offenstand, und begann die Natur zu verändern.

So fand etwas statt, was kein Lebewesen je zuvor gesehen hatte: Der Mensch ergriff einen Stein und schleuderte ihn gegen ein ihn bedrohendes Tier. Und dann schleuderte er ihn abermals, aber jetzt gegen ein Tier, das er als Nahrung erbeuten wollte. Er schlug einen Stein gegen einen anderen und machte methodische Abschläge. Er hatte entdeckt, daß die Schneidekante des Feuersteins stärker war als Krallen oder Horn. Er hatte seine ureigene besondere Waffe entdeckt: das Gehirn.

Durch *Werkzeuge* (Feuerstein, Stock, Knochenstück) konnte der Mensch gleichsam seine Arme „verlängern". Durch seine Werkzeuge lernte er die Möglichkeiten seines Körpers besser kennen: Er besaß jetzt mehr Gliedmaßen als seine natürlichen Arme und Beine, und er arbeitete und kämpfte mit mehr als bloßen Steinen. Indem er die Möglichkeiten

seines Körpers erprobte und sein Werkzeug bearbeitete und schliff, schliff und arbeitete er zugleich an seiner Hauptwaffe, seiner Intelligenz. Er begann seine Vielseitigkeit zu entwickeln und lernte mit Hilfe dieser seiner Intelligenz Leistungen zu vollbringen, für die sein Körperbau an sich ungerüstet und ungeeignet war.

Ein mächtiger Ansporn für die Entwicklung der Intelligenz war sicher die Rivalität unter den männlichen Mitgliedern einer Gruppe um die Eroberung der Weibchen. Es ist anzunehmen, daß solche Konkurrenzkämpfe irgendwann ihr rituelles Drum und Dran (das im übrigen die anderen Wirbeltierarten niemals aufgegeben haben) verloren haben, wodurch sie allerdings zugleich oftmals brutaler und grausamer geworden sein dürften. Man darf davon ausgehen, daß auch hier der Intelligentere die besseren Chancen hatte als seine weniger intelligenten Rivalen.

Sprache

Der Mensch lernte auch etwas, was anderen Tieren unbekannt ist: Er lernte, sich mit seinen Mitmenschen – über das Geben oder Empfangen von Anweisungen und von elementaren Informationen hinaus – zu verständigen.

Die Honigbiene bedient sich eines Tanzes, der anderen Mitgliedern des Bienenkorbs mitteilt: „Da unten in dieser Richtung, in einer so und so großen Entfernung, gibt es Blütenstaub." Es gibt auch andere Beispiele; Haustiere, etwa unsere Hauskatzen und Haushunde, haben gelernt, uns auf ihre Bedürfnisse aufmerksam zu machen. Sie zeigen, wenn sie Hunger oder Durst haben, wenn sie schlafen wollen oder wenn

Felsmalerei in einer tansanischen Höhle.

sie Angst haben. Aber keines dieser Tiere ist z. B. wirklich fähig, etwas Nichtvorhandenes oder zeitliche Kategorien (etwa „jetzt", „später", „heute") auszudrücken.

Die *Sprache* dagegen macht es dem Menschen möglich, auch Dinge zu sagen, die sich nicht auf konkrete Objekte oder Fakten beziehen; er hat die Fähigkeit zur *Abstraktion.* Der Mensch vermag die Empfindungen des Schmerzes oder der Lust in einer Weise auszudrücken, die anderen Tieren unbekannt ist. Es ist ihm ferner möglich, eine Erfahrung verstandesmäßig zu verarbeiten und sich zunutze zu machen.

In der Suche des Menschen nach einer zufriedenstellenden Form für sein Werkzeug, im keimenden Bewußtsein von der Form seines eigenen Körpers (bei dem Versuch, den Körper zu bekleiden) und in der Entwicklung eines Begräbnisrituals erkannten wir einige der Höhepunkte in der Entstehung des abstrakten Denkens. Aber vor all diesem wurde zunächst die Sprache „geboren". Gewiß dauerte der Augenblick dieser Geburt einige tausend Jahre; wir sind nicht imstande, den Zeitpunkt genau festzulegen, da es dafür kein konkretes Beweismaterial gibt.

Erst in dem Augenblick, als der Mensch zu sprechen begann, als er seine Gedanken anderen Menschen mitteilen konnte und etwas zum Ausdruck bringen konnte, das sich nicht unmittelbar auf seine konkrete Situation bezog, erst in diesem Augenblick wurde er wirklich zum Menschen. Das „erste Werkzeug" des Menschen sonderte ihn zugleich von der ganzen übrigen Natur ab: Seine Intelligenz stellte ihn außerhalb der natürlichen Zusammenhänge; denn sie machte es ihm möglich, bei allem, was ihm begegnete, an ein „Früher" oder „Später" zu denken.

Zeit und Magie

Wie jedes andere Tier war auch der Mensch zunächst mit seiner Umwelt vertraut und war in sie integriert. Dann aber begann er, sich ein Bild von dieser Umwelt zu machen und Abläufe zeitlich festzulegen. Er gewann einen Begriff von der *Zeit.* Dieses Zeitbewußtsein und die Fähigkeit zum abstrakten Denken hoben ihn aus dem Niveau des Tieres heraus. Er gewann die Erkenntnis, daß sein Leben bestimmten unabdingbaren Rhythmen unterworfen war, die teils von außen, teils von seinem Körper selbst diktiert waren.

Der Mensch wandte seine Aufmerksamkeit der Natur zu. Er begann ihre Geheimnisse zu entdecken und wollte sie beeinflussen, allerdings ohne konkrete Aktivitäten: Er wurde zum *Magier,* d. h., er erfand *Riten* und entwickelte religiöse Bindungen. Seine Fähigkeit, über das, was ist, hinauszudenken in Richtung auf das, was nicht ist oder nicht gesehen werden kann, führte u. a. zum Totenkult.

Ordnung

Furcht und Gefahr sind mächtige Antriebskräfte. Aber die Dinge verlieren etwas von ihrer Schwierigkeit, wenn der Mensch nicht allein ist. In Gemeinschaft mit anderen Menschen fällt es ihm leichter, tierischen Gegnern entgegenzutreten, in sternlosen Nächten Wache zu halten und die sonderbare, ständige Erneuerung der Natur zu beobachten, deren Geheimnisse er gern entschleiern möchte. Indem er sich mit seinen Gefährten verständigte, zuerst durch Gebärden und Gesten, dann mit Hilfe seiner Stimme, schuf der Mensch seine ersten sozialen Bindungen, und zwar zunächst wohl in einfachen *Jagdgruppen* oder (wie wir das heute nennen würden) *Stämmen.*

Der „Stamm" stellte eine der ersten Formen sozialer Organisation dar. Er bot den einzelnen eine bessere Überlebenschance. Die Aufnahme zeigt eine Karawane von Nomaden bei der Durchquerung der Sahara.

Der Mensch entwarf Regeln für seine erste Sozialordnung. Der *Mann* diktierte jeweils als Oberhaupt des Stammes und der Familie denjenigen, die sich in seiner unmittelbaren Umgebung befanden, seinen Frauen und Kindern, die Regeln dieser Ordnung. Die *Familie,* die zwar immer schon in lockerer Form existiert hatte, wurde jedoch erst richtig geboren, als der Mensch erkannte, daß in ihr die gleichen Elemente wie in der übergeordneten Kategorie des Stammes angelegt waren. Dies war wahrscheinlich der Grund dafür, daß sich Konzept und Wirklichkeit der Familie erst nach denen des Stammes bildeten.

Die Fürsorge der Eltern, die sich in Reaktion auf die Bedürfnisse der Kinder herausbildete und je nach Intelligenz noch verstärkt wurde, gab der Familie einen gewissen funktionalen Charakter, der sich in deren innerer Organisation ausdrückte: Jedes Familienmitglied hatte Nutzen davon, daß es seinen Teil zum Funktionieren der Familie beitrug. Der Mann jagte, die Frau kümmerte sich um die Kinder.

Die Festigkeit des Familienverbandes wiederum gab auch dem Stamm, der ja eine Gruppe von einzelnen Familien war, Kraft. Die dauernde sexuelle Bereitschaft der Frau trug im übrigen bedeutend zur Begründung dauernder Paarbeziehungen bei.

In den frühesten Stadien wird es innerhalb des Stammes noch zur Rivalität zwischen verschiedenen benachbarten Gruppen gekommen sein. Auch die Magie spielte eine wichtige Rolle in dieser Rivalität (deren Ergebnis im allgemeinen blutig war). Der Ursprung einiger kannibalischer Bräuche wird wohl in dieser Zeit zu suchen sein.

Furcht

Die Furcht vor natürlichen Phänomenen brachte neue Einsichten. Nehmen wir z. B. das *Feuer*. Tiere haben sich schon immer vor den seltsamen und furchtbaren Blitzen am Himmel gefürchtet. Sie fürchten sich auch vor dem begleitenden Donner. Auch der erste Mensch hat

sicher die gleichen Ängste bei einem Gewitter ausgestanden. Dennoch muß er sich eines Tages an einen brennenden Ast herangewagt haben, dessen Flammen mit großer Wahrscheinlichkeit von einem Blitz entzündet worden waren. Wir können uns vorstellen, wie er das brennende Holz beobachtete und schließlich feststellte, daß es länger brannte als das schreckliche Himmelsfeuer, das es entfacht hatte.

Wir sehen ihn vor uns, wie er sich entschloß, ein Risiko einzugehen und etwas zu tun, was noch kein anderes Tier vor ihm gewagt hatte. Kein Tier wäre imstande, sich vorzustellen, etwas so Fürchterliches und so Gefährliches wie das Feuer könne auch nützlichen Zwecken dienen. Ein Tier läuft beim bloßen Anblick des Feuers weg. Der Mensch aber muß sich eines Tages vorsichtig den Flammen genähert haben. Er wird vielleicht einen Teil des Astes, der noch nicht brannte, angefaßt haben. Dabei stellte er dann fest, daß das gar nicht weh tat. Der Mensch hielt in seiner Hand die erste Fackel!

Wahrscheinlich erst Jahrhunderte später stellte er eine solche Fackel vor seiner Felshöhle auf in der Hoffnung, ihr Anblick werde Raubtiere abschrecken. Und nach abermals einigen Jahrhunderten entdeckte er, daß seine Nahrungsstücke länger genießbar blieben, wenn er sie über ein Feuer hielt, das von einer Fackel entzündet worden war.

Und wieder arbeitete seine Intelligenz, diesmal vielleicht aus Angst, und trieb ihn zu weiteren Überlegungen voran: Mit Hilfe des Feuers konnte man das Dunkel der Nacht, in dem so viele Gefahren lauerten, durchdringen, wozu die menschlichen Augen allein nicht in der Lage waren. Im Gegensatz zu manchen anderen Primaten, die Nachttiere sind, ist der Mensch immer im wesentlichen ein Tagtier gewesen. Aber mit seiner Fackel bewaffnet, wurde er etwas weniger ängstlich, und seine Lebensgewohnheiten änderten sich dramatisch.

Neue Jagdgründe erschlossen sich ihm, und Beutetiere, die bis dahin für ihn unerreichbar waren, konnten ihm jetzt nicht mehr entkommen. Der Mensch erweiterte seinen Horizont. Er war nun in der Lage, Jagdexpeditionen zu planen und sich auf das Fangen und Töten von größeren, nachtaktiven Tieren vorzubereiten.

Wir erwähnten bereits die Höhle als Sammelplatz oder Werkstätte. Der Mensch wurde jetzt dazu angeregt, die Höhle auf eine völlig neue Art zu benutzen. Sie wurde zum Ort, an dem er heimlich die Abbilder von Tieren, die er bei der nächsten Jagd hoffte töten zu können, an die Wand zeichnete oder eine Jagd selbst auf eine Weise darstellte, die viel dramatischer war als alle Worte. Auf diese Weise entstanden seine ersten künstlerischen Äußerungen – zusammen mit Äußerungen, die seinen Glauben an die Magie bekundeten.

Die jüngeren Mitglieder des Stammes wurden wahrscheinlich in der Dunkelheit der Höhle in das Stammeszeremoniell eingeführt. Bestimmte Tänze der Männer symbolisierten dabei die Jagd und die Kämpfe. Der weiche Erdboden wurde unter den stampfenden Füßen mit der Zeit festgetreten. Die frühen Menschen tanzten sicher nicht nur aus Freude, sondern auch, weil der Tanz ihnen eine weitere Möglichkeit bot, ihre Ängste zu überwinden und sich mit ihren Göttern zu vereinen.

Wir wissen nicht, wann der Mensch lernte, ein Feuer in Gang zu halten, auch nicht, wann er lernte, eines zu entzünden. Die Reste von primitiven Feuerstellen, die aus der Zeit des Pekingmenschen stammen, beziehen sich wahrscheinlich auf den ersten Teil dieses Vorgangs.

Die Helfer des Menschen

Nach und nach gewöhnten sich einige Tiere an die Nähe der Wohnstätten dieses vielseitigen Lebewesens. Zweifellos wurden sie durch die Wärme und den leichten Zugang zu den Nahrungsresten des Menschen angelockt. Es gibt viele Beispiele für *Symbiose* in der Natur, einen

Zustand, bei dem zwei verschiedene Arten von ihrem Zusammenleben profitieren. Eine Art trägt etwas bei, die andere nimmt es an und revanchiert sich mit einer anderen Dienstleistung. Wir finden Beispiele von Symbiose auf allen Ebenen des Tier- und Pflanzenreichs.

Der Mensch lebt nicht symbiontisch im wissenschaftlich anerkannten Sinn dieses Wortes. In seinen Kontakten mit anderen Tierarten geht er niemals irgendeine Form von echter „partnerschaftlicher" Beziehung ein; im allgemeinen ist vielmehr er der bestimmende, profitierende Partner. Man denke nur an „des Menschen besten Freund". Als ein einigermaßen spezialisierter Fleischfresser lebte der Wolf (der Urahn unseres Haushundes) gelegentlich in der Nähe der menschlichen „Behausungen" (Felsüberhang oder Höhle). Der Mensch beobachtete dieses Tier, machte sich Gedanken über seine Geschicklichkeit als Jäger, erkannte, daß er einer Fährte folgen konnte, und sah, daß er ein Beutetier schneller und wirkungsvoller verfolgen konnte als er selbst. Er zähmte diesen Fleischfresser und lieferte damit zugleich ein bemerkenswertes Beispiel für die Fähigkeit des Menschen, natürliche Elemente seiner Umgebung zu verändern. Gleichzeitig hatte auch der Wolf, wie wir bemerkten, einen Vorteil, insofern ihm von jetzt an Unterkunft und Nahrung sicher waren. Dieser Vierbeiner wurde in der Tat durch den Menschen radikal verändert. Wir alle wissen, wie wichtig diese *Domestikation (Zähmung)* für den Übergang von der Lebensform des Jagens und Sammelns zur Viehzucht und zum Ackerbau war. Der Hund wurde für den frühen Bauern und Hirten höchst wertvoll.

Ein Bauer bei der Feldarbeit in der Gegend von Zamora (Spanien).

Die einzige Wahl

Wir haben gezeigt, daß der Mensch das einzige Lebewesen ist, das bisher imstande war, auf seine Umgebung, sei's im guten, sei's im bösen, im großen Stil einzuwirken und diese Umgebung schließlich zu verändern. In der letzten Zeit mußten wir allerdings erkennen, daß wir Menschen zugleich aber auch in der Lage sind, uns selbst zu vernichten. Diese Erkenntnis weckte ein allgemeines Interesse für ökologische Beziehungen. Wiederum treibt uns dabei die Angst an (eine der Hauptantriebskräfte unserer Entwicklung), daß sich unsere Befürchtungen als wahr herausstellen könnten. Die Notwendigkeit zum Handeln wurde spät genug erkannt. Aber diese Erkenntnis zeigt immerhin, daß wir noch fähig sind, uns unserer, entwicklungsmäßig gesehen, besten Waffe zu bedienen: unseres Gehirns.

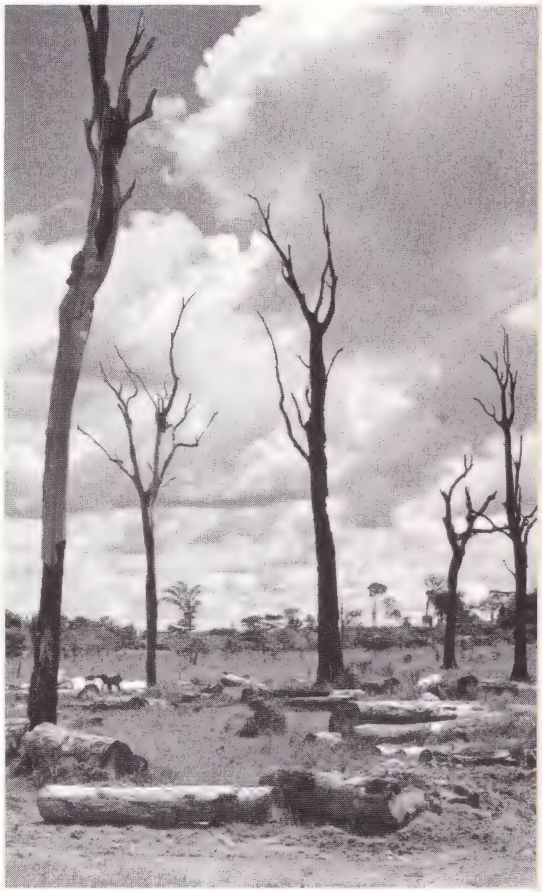
Die Einflußnahme des Menschen auf die ganze Welt ist tatsächlich nur der Form nach außergewöhnlich. Wir haben gezeigt, daß sie das Ergebnis eines Entwicklungsprozesses ist, der sich von allen anderen Entwicklungsprozessen in vielerlei Hinsicht unterscheidet. Der Mensch blickte von der Höhe des erreichten Niveaus herab. Seine Aufwärtsentwicklung erfolgte zu schnell; er ist noch ganz außer Atem. Aber in dieser Weise herabzublicken, ist trotzdem gesund; es weckt neue Furcht und Neugier. (Jede „junge Art" ist in gewisser Weise Kind: neugierig und Fragen stellend.)

Furcht und Neugier lassen uns fragen, wie die Entwicklung bis heute alternativ hätte verlaufen können und wohin sie in Zukunft tendiert. Die Antwort auf den ersten Teil der Frage ist leicht zu geben, wenigstens für den Anfang unserer Geschichte. Sie lautet schlicht: Ohne seine Spezialisierung im Denken wäre der Mensch niemals imstande gewesen, eine solch schnelle Entwicklung zu erleben. Der früheste Hominide hätte sich zwar auf dieser oder jener anderen Entwicklungslinie weiterbewegt haben können, aber sein Aufstieg wäre weder so steil noch so schnell erfolgt.

Nachdem der Mensch einmal zum Menschen geworden war, nahm die Anzahl möglicher Entscheidungen in dem Maße zu, in dem seine Intelligenz wuchs. Jede Entscheidung, die er fällte (ob es dabei nun um eine kriegerische Auseinandersetzung oder um Wanderbewegungen ging) war entscheidend für seine Höherentwicklung. Wir sollten nunmehr unsere jüngste Menschheitsgeschichte noch einmal durchlaufen, um diese Entscheidungen, die einen solch großen Einfluß auf die Geschichte des Lebens auf der Erde hatten, besser zu verstehen.

Den zweiten Teil der oben gestellten Frage könnte man dahingehend beantworten, daß die Zukunft des Homo sapiens als schneller Abstieg darstellbar ist – in seiner Rasanz dem vorhergehenden Aufstieg vergleichbar. Der Mensch wußte immer, daß und wie er auf die Natur einwirken konnte, und er hat auch immer wieder auf sich selbst, seine eigene Entwicklung, Einfluß genommen. Jetzt ist er in der Lage, darüber hinaus sich und seine Umwelt positiv zu verändern. Er kann einen Einschnitt machen und pausieren, zurückblicken und bedenken, was er erreicht hat – und er kann auf das vorausblicken, was er sich wünscht. Er hat die Möglichkeit, das Erreichte zu festigen oder zu verbessern. Seine außerordentliche Spezialisierung zum denkenden Lebewesen könnte in einer nie zuvor erlebten Weise zum Wohle unseres gefährdeten Planeten und seiner Bewohner eingesetzt werden. Aber wir müssen zugleich warnen: Sollte er die falsche Entscheidung treffen, dann könnte es sehr schnell dahin kommen, daß es nichts mehr zu entscheiden gibt.

Die Eingriffe des Menschen in die Natur können zu solchen Resultaten führen: exzessive Auslaugung des Bodens, Entwaldung (mit entsprechender Erosion des Bodens), Luft- und Wasserverschmutzung.



Bibliographie

Andrews, R. Ch.: All about strange beasts of the past, New York 1956
Bordes, F.: La paléolithique dans le monde, Paris 1968
Brouwer, A.: General paleontology, engl. Übers., Chicago 1967
Clark, G.: Frühgeschichte der Menschheit, dt. Übers., Stuttgart 1976
Clegg, E. J.: The study of man, New York 1968
Cox, B.: Tiere der Vorgeschichte, dt. Übers., Stuttgart und Zürich 1977
Dal Piaz, G./Malaroda, R.: Paleontologia. Bd. 2: Vertebrati, Padua 1966
Darwin, Ch.: Die Entstehung der Arten durch natürliche Zuchtwahl, dt. Übers., Stuttgart 1967
Darwin, Ch.: Die Abstammung des Menschen, dt. Übers., Stuttgart [3]1966
Day, M. H.: Urmenschen, dt. Übers., Ravensburg 1975
Fairservis, W. A.: The origins of oriental civilization, New York 1959
Furon, R.: Manuel de préhistoire général, Paris [5]1966
Grzimeks Tierleben, München 1967–73. Bd. 11: Säugetiere 2 (1969)
Heberer, G., u. a.: Anthropologie, Frankfurt [7]1975
Huxley, Th. H.: Zeugnisse für die Stellung des Menschen in der Natur, dt. Übers., Stuttgart 1963
Jarman, C.: Evolution of life, New York 1971
Kurtén, B.: Die Welt der Dinosaurier, dt. Übers., Frankfurt 1974
Kurtén, B.: Nicht von den Affen, dt. Übers., Berlin 1973
Leonardi, P.: Trattato di geologia, Turin [2]1970
Leroi-Gourhan, A.: Les hommes de la préhistoire, Paris 1955
Lorenz, K.: Das sogenannte Böse, München 1974
Moore, F.: L'evoluzione, Mailand 1973
Morgan, E.: Der Mythos vom schwachen Geschlecht, dt. Übers., Frankfurt 1975
Padoa, E.: Storia della vita sulla Terra, Mailand 1971
Pasa, A. (Herausgeber), u. a.: Introduzione allo studio della Preistoria, Pavia 1968
Pinna, G.: Fossilien in Farbe, dt. Übers., München 1976
Pinna, G.: Paleontologia ed evoluzione, Mailand 1974
Pivetau, J.: L'origine de l'homme, Paris 1962
Rhodes, F. H. T., u. a.: Fossilien, dt. Übers., Stuttgart und Zürich 1972
Romer, A. S.: Entwicklungsgeschichte der Tiere, Lausanne 1970
Ruggieri, G.: La Terra prima di Adamo, Mailand 1975
Ruggieri, G.: La scoperta dei fossili, Mailand 1975
Spinar, Z. V./Burian, Z.: Leben in der Urzeit, dt. Übers., Hanau [4]1976
Teilhard de Chardin, P.: Der Mensch im Kosmos, dt. Übers., München [7]1964
Toynbee, A.: Der Gang der Weltgeschichte, dt. Übers., Zürich 1970
Trevisan, L./Tongiorgi, E.: La Terra, Turin 1958
Weiner, J. S.: The natural history of man, New York 1971

Bildquellennachweis

BILDTAFELN UND ZEICHNUNGEN

Arvati, Verona: 144 (unten), 147, 153, 155 (oben), 188, 207, 232, 243; Berni, Mailand: 37, 48/49, 50, 79, 96/97, 104/105; Cattaneo, Bergamo: 16/17, 40/41, 92, 100/101, 125, 132, 139, 160, 161, 162/163, 165, 189 (links), 194, 195, 196, 200/201; Corbella, Mailand: 20, 21, 24, 30, 34, 38, 46, 55, 58, 58/59, 82/83 (oben), 90, 94, 106/107, 108, 109, 127, 134, 169 (oben), 172, 173, 178/179, 185, 193, 233, 235, 248; Cozzaglio, Brescia: 8/9, 29, 35, 36, 54, 56/57, 61, 64/65, 68/69, 72, 76, 76/77, 80, 80/81, 84/85, 86, 88/89, 110, 116/117, 120/121, 138, 145, 171, 213, 221, 239; Curiel, Verona: 83 (unten), 91, 115, 148, 224, 238, 251 (rechts); Fedini, Mailand: 11, 23, 32, 75, 128/129, 140, 158/159, 166, 176/177, 184, 187, 205, 222/223; Ghiringhelli, Mailand: 8 (links oben), 10, 14, 15, 22, 27, 28, 44, 53, 60, 62, 66, 67, 70, 78, 98, 99, 122, 142, 151, 152, 168, 182, 192, 210, 216, 246; Renna, Mailand: 226/227, 250/251, 257; Sergio, Mailand: 198, 203, 209 (A. C. Blanc), 212 (links), 218/219, 229, 231 (links), 236, 240/241.

FOTOGRAFIEN

Archivio Bertarelli/Arborio Mella, Mailand: 156; A.S.A. Press, Paris: 230; Bettman Archives, New York: 137 (unten); Carrese, Mailand: 199, (Magnum:) 136 (rechts unten), 164 (links), 249 (oben); De Biasi, Mailand: 245; F.A.O., Rom: 259; Guerreschi, Mailand: 217; Marka, Mailand: 13, 67 (links), 113, 119, 123; Mazza, Mailand: 12, 18, 164 (rechts), 174; Mondadori-Archiv, Mailand: 137 (oben), 144 (oben), 169 (unten links); Mondadori-Bonatti, Mailand: 45; Moriarty, San Diego: 214; Motto, Mailand: 189 (rechts), 208, 211 (rechts), 212 (rechts), 231 (rechts), 242; Musée National d'Histoire Naturelle, Paris: 87; Museo di Storia Naturale – Dal Gal, Verona: 118; Museo di Storia Naturale – Pinna, Mailand: 126; Museum Hauff, Holzmaden-Teck, Württemberg: 143; Pictor, Mailand: 31, 43, 47, 63 (unten), 71, 114, 131, 135, 136 (links unten und Bildmitte), 164 (links), 169 (unten rechts), 225; Pucciarelli, Rom: 258; Quilici, Rom: 103, 204, 211 (links); Ricciarini, Mailand: (Cirani:) 25, 112, (P-2:) 39, (Robba:) 26, (Rossi:) 63 (oben), 136 (oben), 155 (unten), 170, 180/181, 190, 206, 220, 249 (unten), 252, 254/255; Courtesy of Smithsonian Institution, Washington: 6/7; S.E.F., Turin: 4; Stanghellini, Verona: 40 (links), 42; Union Press, Mailand: 95; P. Ward, Arusha: 52.

Register

Kursive Seitenzahlen beziehen sich auf Abbildungen oder auf Text und Abbildungen

Abbevillien 208
Acheuléen 213
Adler *135*
Aegyptopithecus 186
Affen 161
Affenlücke s. Diastema
Afrikanischer Elefant 91
Albenga *220*
Alca impennis s. Riesenalk
Al Faijum *184 ff.*
Allotheria 34, 58
Altamira 118
Altelefanten 86
Alticamelus *100/101,* 102
Altweltaffen (Schmalnasen, Catarrhina) 161, *169,* 170
Amblypoden (Amblypoda) *58/59,* 60
Amebelodon 78
Ameisenigel (Tachyglossidae) 22
Amynodontidae 94
Anactornis 112
Anancus 115
Anchitherium 74
Andalgalornis 112
Andrewsarchus 60, *61*
Anthracotherium, Anthrakotherien (Anthracotheriidae) 94 f.
Anthropomorphae svw. Große Menschenaffen (s. Menschenaffen)
Archaeotherium 94, *96/97*
Archidiskodon, Archidiskodonten 86, *88/89*
Archidiskodon imperator 87
Archidiskodon meridionalis 86, 115
Arctocyon 54
Arsinoitherium 93, *184*
Art 138 ff.
Artiodactyla s. Paarhufer
Asiatischer Elefant 91
Astrapotherium 106 f., *108*
Atlanthropus mauretanicus 213
Atmung 16
australische Region 126
Australopithecus 115, 147, 191 ff., *196,* 199
– africanus (Typ A) *194, 239*
– robustus (Typ P) 191, *193, 195*

Backenzähne (Mahlzähne, Molaren) 27
Badlands *4 f.*
Baluchitherium s. Paraceratherium
Barylambda 54, *56/57*
Basilosaurus *68/69,* 70
Basset *135*
Bathyopsis *58*
Becquerel, A. H. 153
Beringstraße 39, 90, 122, 213
Beuteltiere (Marsupialia) 20, 36 f., *38,* 126 f.
Beutelwolf 104
Bison *120/121*
– latifrons s. Steppenbison
Blancan 122
Boreodon 36
Boreostracon *125*
Borhyaena *104/105*
Bothriodon 95
Brachiation s. Schwinghangeln
Bramapithecus 189
Breitnasen s. Neuweltaffen
Broken Hill (Kabwe) 214
Brontops 93
Brontotherium 5, *8, 16/17,* 65, 93
Buchanan Canyon *214*
Buckelwal *29*
Burchellzebra *18*
Buschbabies s. Galagos

Camelidae s. Kamele
Carnivora s. Raubtiere
Catarrhina s. Altweltaffen
Ceraunia s. Donnerkeile
Cervidae s. Hirsche
Cervus dicranios 115
Cetacea s. Wale
Chalicotheriidae 102
Champsosaurus 51
Chiroptera s. Flattertiere
Chopper s. Hauwerkzeuge
Chrysopelea s. Schmuckbaumnatter
Circeoschädel *231*
Claenodon 54
C-14-Methode 154
Coelodonta antiquitatis s. Wollnashorn
Coendu s. Greifstachler
Columella 30
Combe-Capelle 243
Condylarthra s. Urhuftiere
Cope, E. D. 6
Coryphodon *58/59*
Cranioceras *100/101,* 102
Creodonta s. Urraubtiere
Cro-Magnon 239
Cromagnonmensch (Homo sapiens fossilis) *238 ff., 241 f.*
Cromer-Warmzeit 206
Ctenacodon *37*
Cuvier, G. Baron de 62, 133
Cuvieronius (Teleobunomastodon) 82
Cynocephalus volans s. Philippinengleitflieger
Cynognathus *11*

Daeodon (Dinohyus) 99, *100/101*
Damhirsch (Dama dama) *119*
Dart, R. A. 147, 191
Dart-Hominiden 193, 197
Darwin, Ch. 134, *137,* 138
Dasypus novemcinctus s. Neunbindengürteltier
Datierung von Fossilien *150 ff.*
Dauerfrostboden 84
Deltatheridium 36
Deltatherium 54
Dendrochronologie 151 f., *155*

Dermoptera s. Riesengleitflieger
Desmostylier (Desmostylia) 102
Diadiaphorus *106, 107*
Diarthrognathus 33
Diastema (Affenlücke) 178
Diatryma 71, *72*
Dicerorhinus etruscus 115
Dicrocerus 102
Dinictis *98*
Dinocerata 54, 59 f.
Dinohyus s. Daeodon
Dinornis maximus s. Riesenmoa
Dinotherium, Dinotherien (Dinotherioidea) *78,* 115
Diprotodon 130
Dobzhansky, Th. 134
Doedicurus 124
Dokodonten 34
Donau-Günz-Warmzeit s. Waal-Warmzeit
Donau-Vereisung 205
Donnerkeile (Ceraunia) 145, 208
Donnerpferde 5 f.
Dryopithecinae 186 ff.
Dryopithecus *185,* 186
Düssel 215

Eckzahn 27
Edaphosaurus *11*
Edentata s. Zahnarme
Eem-Warmzeit (Riß-Würm-Warmzeit) 206, 234
Ehringsdorf 234
Eidechse 12
Eidotter 20
Einnistung s. Nidation
Eisbär *13*
Eiszeit (Kaltzeit, Glazial) 44 ff., 202 ff., 215 ff.
Eizelle 19
Elasmotherium 118
Elefanten 85 ff., *90 f.*
Embrithopoden (Embrithopoda) 93
Embryo 20
Embryonalentwicklung 20
Endotherium 36
Entelodontidae 94
Entwicklung der Säugetiere *32*
Eoanthropus dawsoni 149
Eobasileus *58/59,* 60
Eodelphis 36
Eohippus (Hyracotherium) 73
Eotitanops 65
Eozän 38, 54 ff., 62, 66, 70, 73, 76
Eozostrodon s. Morganucodon
Equus s. Pferde
Erethizon dorsatum s. Nordamerikanisches Baumstachelschwein
Europäischer Igel *160*
Eusmilus *98*
Evolution 136, 202
Evolutionstheorie 138

Fackel 256
Familie 254
Fangzähne 28
Fastmenschen s. Paranthropus
Faultier 124
Faustkeil *212,* 221 f.
Faustkeilkultur 208
Feingriff *198*
Felsmalerei *252*
Feuer 255
Feuersteinkeulen 224
Feuersteinwerkzeuge *144*
Flattertiere (Chiroptera) 70
Fledermäuse *31*
Flossenfüßer s. Robben
Flughaut 70
Fluortest 149
Flußschwein (Potamochoerus) *63*
Fossa canina 216
Fußknochen 179

Galagos (Buschbabies) 161, *162/163,* 165, 167
Galapagosfink *144*
Gánovce 234
Gebiß 178
Gehirn 22 ff., 247
Gehirnrinde 24
Gehörknöchelchen 30
Geochronologie 150
Gepard *25, 164*
Gescheckte Spitzmaus *160*
Gesetz der Überlagerung 150
Gibbons (Kleine Menschenaffen, Hylobatidae) 161, *162/163,* 171
Giraffen (Giraffidae) *27,* 102
Glazial s. Eiszeit
Glyptodon 124
Glyptodonten s. Riesengürteltiere
Gnathabelodon 79
Gnu *25*
Gomphotherium (Trilophodon) 78, *80/81 ff.*
Gorilla *136,* 171, *172/173, 178/179*
Gravigrada s. Riesenfaultiere
Greifstachler (Coendu) *113*
Grislybär *123*
Grönlandrobbe *67*
Große Menschenaffen s. Menschenaffen
Günz-Mindel-Warmzeit s. Mindel-Riß-Warmzeit
Günz-Vereisung 206
Gürteltier 124

Haarkleid 14
Haiti-Schlitzrüßler *160*
Halbaffen (Prosimii) 161, 167
Halbwertszeit 154
Handbeil *251*
Hanno 173
Hasenartige (Lagomorpha) 53
häutiges Labyrinth 30
Hauwerkzeuge (Chopper) 143, 208, *251*
Heidelbergmensch (Mauermensch) 207 ff.
Hermosiornis 112
Herrentiere s. Primaten
Hesperocyon *16/17*
Hibben, F. C. 131
Hinterhirn 24
Hipparion 74, *76*
Hippopotamus major 115
Hippopotamus amphibius s. Nilpferd
Hirsche (Cervidae) 102

Höhlenbär (Ursus spelaeus) *118*
Holozän 38, 130
Homalodotherium 106
Hominiden (Hominidae) 161, 175, 197 ff.
Hominoidea s. Menschenartige
Homo s. Mensch
Homo erectus 207
– – pekinensis s. Pekingmensch
– – soloensis s. Ngandongmensch
Homo habilis 199, 202, *203*
Homoiothermie 13 ff., 16
Homo sapiens 136, 146, *208*
– – fossilis s. Cromagnonmensch
– – neanderthalensis s. Neandertaler
– – praesapiens *239*
– – rhodesiensis s. Rhodesiamensch
– – sapiens 238 ff.
Hoplophoneus *16/17,* 98
Howells, W. 146
Huf 60
Huftiere (Ungulata) 54
Huxley, Sir J. S. 135
Hyaenodon *60,* 97
Hyäne 102
Hylobatidae s. Gibbons
Hyracodon, Hyracodontidae 94
Hyracotherium s. Eohippus

Ichthyosaurier *143*
Ichthyostegen (Ichthyostega) *11,* 14
Illinoian 206
Indricotherium *92,* 94
innere Oxydation 15
Insectivora s. Insektenfresser
Insektenfresser (Insectivora) *160,* 162
Intelligenz 248
Interglazial s. Warmzeit

Jagd in Lappland *225*
Javamensch 209
Jura 35

Kabwe s. Broken Hill
Kältesteppenmammut (Mammonteus primigenius) *87*
Kaltzeit s. Eiszeit
Kamele (Camelidae) 96, *135*
Känguruh 20, *21, 39*
Kanjera 239
Känozoikum 36, 38, 51, 103 ff., 106, 126
Kansan 206
Kapuzineraffe *165*
Karmel *234,* 235
Kiefergelenk 28
Kieselsteinkultur 198
Klassifikation 136 f.
Kleine Menschenaffen s. Gibbons
Kloakentiere (Monotremata) 22, 51, 126
Knöchelgänger 172
Koboldmakis (Tarsius) 70, *71,* 161, *162/163,* 167
Kontinentalanhebung 43
Kontinentalverschiebungen 168 f.
Konvergenz 105 f., *106/107*
Körpertemperatur *11, 15*
Krallenaffe *165*
Krapina 234
Kreide 36

Lagomorpha s. Hasenartige
Landbrücken *168*
Lantianmensch 212
Lanzettfischchen 23
Lar s. Weißhandgibbon
Leakey, L. 187, 199
lebendgebärend (vivipar) 22
Le Gros Clark, Sir W. 149, 239
Lemuren 161, 167
Leptobos etruscus *115*
Lernen 24 f.
Lewis, G. E. 188
Lewisville 213
Linné, C. von 136
Listriodon 99
Litopterna 106
Lophiodon *64/65*
Loris 161, 167
Löwe *103*
Loxodonta 86

Machairodus *76, 99,* 102, 115
Macrauchenia *110,* 112
Magie 231, 253
Magot *165*
Mahlzähne s. Backenzähne
Makapansgat 191
Mammalia s. Säugetiere
Mammonteus (Mammuthus) 86
– primigenius s. Kältesteppenmammut
– trogontherii s. Steppenmammut
Mammute (Steppenelefanten) *82/83,* 86 ff., 90, *205*
Mammuthus s. Mammonteus
Mammutbackenzahn *145*
Manteoceras 66
Marsh, O. Ch. 5
Marsupialia s. Beuteltiere
Marsupium 20
Mastodon, Mastodonten 77, 79 ff., 82, *84/85*
Matterhorn *43*
Mauer 207
Mauermensch s. Heidelbergmensch
Maulwurf *27*
Meeressäuger 66
Megacerops 93
Megaceros s. Riesenhirsche
Megahippus 74
Megaloceros s. Riesenhirsche
Megalonyx 126
Megatherium 124
Megazostrodon 33
Menotyphla 162
Mensch (Homo) 133 ff., *162/163,* 199
Menschenaffen 171 ff.
–, Große (Pongidae, Anthropomorphae) 161
–, Kleine s. Gibbons
Menschenartige (Hominoidea) 171, 175 ff.
Mercati, M. 145
Mer de Glace *45*
Merychippus 74
Merycoidodon s. Oreodon

Mesohippus *16/17,* 73 f.
Mesonyx 60
Metamynodon 94
Milanković, M. 45
Mindel-Riß-Warmzeit (Günz-Mindel-Warmzeit) 206
Mindel-Vereisung 206, 239
Miozän 38, 74, 78, 82, 93 ff., 99 ff., 102, 108, 186
Missing link 33
Mittelhirn 24
Moeritherium *79, 82/83, 184*
Molaren s. Backenzähne
Monotremata s. Kloakentiere
Monte Circeo 231
Morganucodon (Eozostrodon) 33 f.
Moropus 102
Moschusochse *84/85,* 118
Moustérien 217
Multituberculata (Multituberkulaten) 35, *50,* 51, 58
Mutterkuchen s. Plazenta
Mylodon 126

Nagetiere 53
Nashorn (Rhinozeros) 93 f., *131*
Neandertal 215
Neandertaler (Homo sapiens neanderthalensis) *212,* 215 ff., *218/219, 226/227, 229, 233,* 236, *239*
Neandertalerfunde *216*
Nebraskan 206
Necrolemur 70
Nesodon 106
Neunbindengürteltier (Dasypus novemcinctus) *112*
Neuweltaffen (Breitnasen, Platyrrhina) 161, *169*
Ngandongmensch (Solomensch, Homo erectus soloensis) 212 f.
Nidation (Einnistung) 19
Nilpferd (Hippopotamus amphibius) *114*
Nomadenkarawane *254*
Nordamerikanisches Baumstachelschwein (Urson, Erethizon dorsatum) 126
Notoungulata s. Südhuftiere

Oakley, K. 149
Ocker 225
Ohio-Elefant 82
Olduwaikultur *203*
Olduwaischlucht *190,* 191, *200/201*
Oligozän 38, 44, 73, 76, 93 ff., 105
Opossum 20, *56/57*
opponierbarer Daumen 165
Orang-Utan *26, 136, 162/163,* 171, *172/173, 178/179*
Ordnung 253
Oreodon (Merycoidodon), Oreodonten (Oreodontidae) 95 ff.
Oreopithecus bambolii *189*
Ornithorhynchus 22
Orohippus 73
Oxyaena 54
Oxydactylus 102

Paarhufer (Artiodactyla) 61 f., 99
Palaeodonta 62
Palaeoloxodon antiquus *86,* 90
Palaeoloxodon falconeri *86*
Palaeoloxodon mnaidriensis 86
Palaeomastodon 83
Palaeosyops 65
Palaeotherium 62, *64/65,* 73
Paläontologie 134
Paleozän 38, 51 f., 55, 70
Pantodonten (Pantodonta) 54, *56/57,* 60
Pantolambda 54, *56/57*
Pantotheria *36, 38,* 162
Pappotherium 36
Paraceratherium (Baluchitherium) *92,* 94
Paramylodon 126
Paranthropus (Fastmenschen) 191
Parapithecus *185*
Pavian *162/163, 170, 199*
Pekingmensch (Homo erectus pekinensis) 210 ff., *213*
Pelykosaurier 14
Perissodactyla s. Unpaarhufer
Peyzac-le-Moustier *217*
Pferde (Equus) *63,* 73 f., *75*
Pferdehuf *76*
Pflanzenfressergebiß 28
Phenacodus 60
Philippinengleitflieger (Cynocephalus volans) *52*
Phiomia 77 f., *82/83*
Phororhacos 108 f.
Piltdown 148
Piltdowmensch 147, 149
Pinnipedia s. Robben
Placentalia s. Plazentatiere
Plagiaulax 35
Planetetherium *50,* 52
Platybelodon 78, *80/81*
Platyrrhina s. Neuweltaffen
Plazenta (Mutterkuchen) 19
Plazentatiere (Placentalia) 20, 36 ff., 51, 162, *128/129*
Pleistozän 38, 44, 46, 78, 85, 90, 111 ff., 127, 202 ff.
Plesiadapis 53, *56/57,* 185
Pliohippus 74
Pliopithecus *185*
Pliozän 38, 74, 78, 111 ff., 186
Pluvial (Pluvialzeit) 206
Poebrotherium *16/17, 96/97*
Pollenanalyse 151
Pongidae svw. Große Menschenaffen (s. Menschenaffen)
Potamochoerus s. Flußschwein
Prämolaren s. Vorbackenzähne
Präneandertaler 234
Primaten (Herrentiere) *136, 182,* 184 ff.
Primatenunterkiefer *185*
Proboscidea s. Rüsseltiere
Proconsul 187
– africanus *187, 188*
Prodiacodon 52
Promerycochoerus 102
Propalaeohoplophorus 124
Propliopithecus *185,* 186
Prosimii s. Halbaffen

Protapirus *16/17, 94, 96/97*
Prothylacinus 104
Protitanotherium 66
Protoceras *96/97,* 102
Protocetus 67, *70*
Psittacotherium 53
Ptilodus *50,* 51, *53*
Punín 244
Purgatorius ceratops 184
Pyrotheria 107

Quartär 38
Quinzano 233

radioaktive Isotope *150,* 153 f.
Ramapithecus *138/139,* 186 ff., 202
Rancho La Brea *88/89,* 90
Raubbeutler 104
Raubtiere (Carnivora) 28, 54, *55*
Reißzähne 28
Ren 118
Reptilien 10
Rhinocerotidae 94
Rhinozeros s. Nashorn
Rhodesiamensch (Homo sapiens rhodesiensis) 214
Riesenalk (Alca impennis) 48
Riesenfaultiere (Gravigrada) 124, *125*
Riesengleitflieger (Dermoptera) 52
Riesengürteltiere (Glyptodonten) 124, *125,* 126
Riesenhirsche (Megaloceros, Megaceros) *116/117,* 118, *205*
Riesenkranich *72*
Riesenmoa (Dinornis maximus) *126,* 130
Riesensequoie *155*
Riesenwildschwein 94
Riß-Vereisung 206
Riß-Würm-Warmzeit s. Eem-Warmzeit
Robben (Flossenfüßer, Pinnipedia) 66, *135*
Rocky Mountains 58, 73
Rückgrat 179
Rudolfsee 202, *204*
Rüssel 78
Rüsseltiere (Proboscidea) 76, *140*

Säbelzahntiger (Säbelzahnkatzen) *88/89,* 97 f., 102, *122*
Saccopastore 233
Saldanhamensch 214
Sangamon 206
Säugetiere (Mammalia) 10, 12, 25
Säugetierembryo *20*
Säugetiergebiß 27
Säugetierreptilien 33
Säugetierskelett 26 ff.
Schaber 222, *251*
Schädelkapazität 202, 216, *243*
Schädel von Sterkfontein *193*
Schädel von Swartkrans *193*
Schaufelkiefer 78
Schimpanse *136, 162/163, 165, 171, 172/173, 178/179*
Schmalnasen s. Altweltaffen
Schmuckbaumnatter (Chrysopelea) *12*
Schnabeltier *21*
Schneidekante 208
Schneidewerkzeuge 143
Schneidezähne 27
Schweißdrüsen 14
Schwinghangeln (Brachiation) *174*
Seekühe (Sirenen, Sirenia) 66
Seelöwe *27*
sekundärer Gaumen 17, 27
Serologie 171
Siamangs (Symphalangus) 171
Simpson, G. G. 28, 157
Sinanthropus 210
Sirenen (Sirenia) s. Seekühe
Sivatier (Sivatherium) 115
Siwalikgebirge 189
Smilodon *88/89*
Sognefjord *47*
Solomensch s. Ngandongmensch
Sozialleben 172
Speerspitzen *224*
Spektrumtheorie 244
Spitzhörnchen (Tupaja) 53, *54, 162/163,* 163 f., *165*
Spitzmaus *160*
Sprache 252 f.
Stamm 253
Stammbaum der Primaten *166*
Stammbaum der Säugetiere *158/159*
Stegodon 86
Stegolophodon 85
Stegomastodon 82
Steinheim an der Murr 239
Steinheimmensch *238,* 239
Steinwerkzeuge *209*
Stephanocemas 102
Steppenbison (Bison latifrons) 122
Steppenelefanten s. Mammute
Steppenmammut (Mammonteus trogontherii) 86
stereoskopisches Sehen 165
Sterkfontein 191
Sternmull *160*
Sthenurus 130
Stoßzähne 78, 82
Stratigraphie 150, *151*
Streifentanrek *160*
Südhuftiere (Notoungulata) 106, 112
Sus s. Wildschweine
Swanscombe 239
Swanscombemensch *238,* 239
Swartkrans 191
Symmetrodonten *36, 38*
Symphalangus s. Siamangs
Syndyoceras *100/101,* 102
Synthetoceras 102
Systema naturae *136*

Tachyglossidae s. Ameisenigel
Taeniodonta 53
Taeniolabis *50, 53*
Tanz 256
Tapire (Tapiridae) 94, *95*
Tarsius s. Koboldmakis
Taung 191
Teleobunomastodon s. Cuvieronius

Temperatursteuerung 14 f.
Teratornis 123
Ternifine 213
Ternifinemensch 213
Tertiär 38
Tetonius 70
Tetraclaenodon 54
Tetralophodon 82
Tetrapoden 10
Texas Street *214*
Theosodon 107, *104/105*
Therapsiden 33
Theria 35, *38*
Thlaeodon 36
Thoatherium *106,* 107
Thomashuxleyia 106
Thylacoleo 130
Thylacosmilus 111
Tiger *27*
Tillodontia 53
Tillotherium *58*
Titanotheriiden 5 ff., *8/9,* 65 f., *67,* 93
Totenbestattung 228 ff.
Totentanz *230*
Toxodon *110,* 112
Tragzeiten 20, *22*
Transvaal 191
Trias 34 f.
Triconodon, Trikonodonten 34 f., *35, 37, 161*
Trilophodon s. Gomphotherium
Trinil 209
Tritemnodon 60
Tupaja s. Spitzhörnchen

Überaugenwulst 209, 239
Uintatherium *58/59,* 59 f.
Ungulata s. Huftiere
Unpaarhufer (Perissodactyla) 61, *62*
Unterart 139
Uran 153
Urhuftiere (Condylarthra) 54, 60
Urraubtiere (Creodonta) 54, 60
Urson s. Nordamerikanisches Baumstachelschwein
Ursus etruscus 115
Ursus maritimus s. Eisbär
Ursus spelaeus s. Höhlenbär

Vergletscherung 44, 46
versteinerte Affenhand *145*
Vértesszőllős 238
Villafranchium 114, 122
vivipar s. lebendgebärend
Vogelembryo *20*
Vorbackenzähne (Prämolaren) 27
Vorderhirn *24*

Waal-Warmzeit (Donau-Günz-Warmzeit) 206
Wale (Cetacea) 66
Wärmezwischenzeiten 206
Warmsteppenelefanten 86
Warmzeit (Interglazial) 204
Warven 153
Warvenanalyse 152 f.
Warvenmethode *153*
Weiner, J. S. 146, 149
Weißhandgibbon (Lar) *174*
Werkzeugmacher 141, 198
Wildschweine (Sus) 94
Wisconsin 206
Wolf *120/121*
Wollnashorn (Coelodonta antiquitatis) 115, *205*
Woodward, A. S. 148
Würm-Vereisung 206, 217

Yarmouth 206

Zahnarme (Edentata) 104
Zähne 178
Zalambdalestes 36
Zeit 253
Zinjanthropus 191
Zwergelefanten 86
Zwischeneiszeit 44

Die Geheimnisse der Urzeit

Band 1:
Der Ursprung des Lebens

Band 2:
Das Leben im Meer

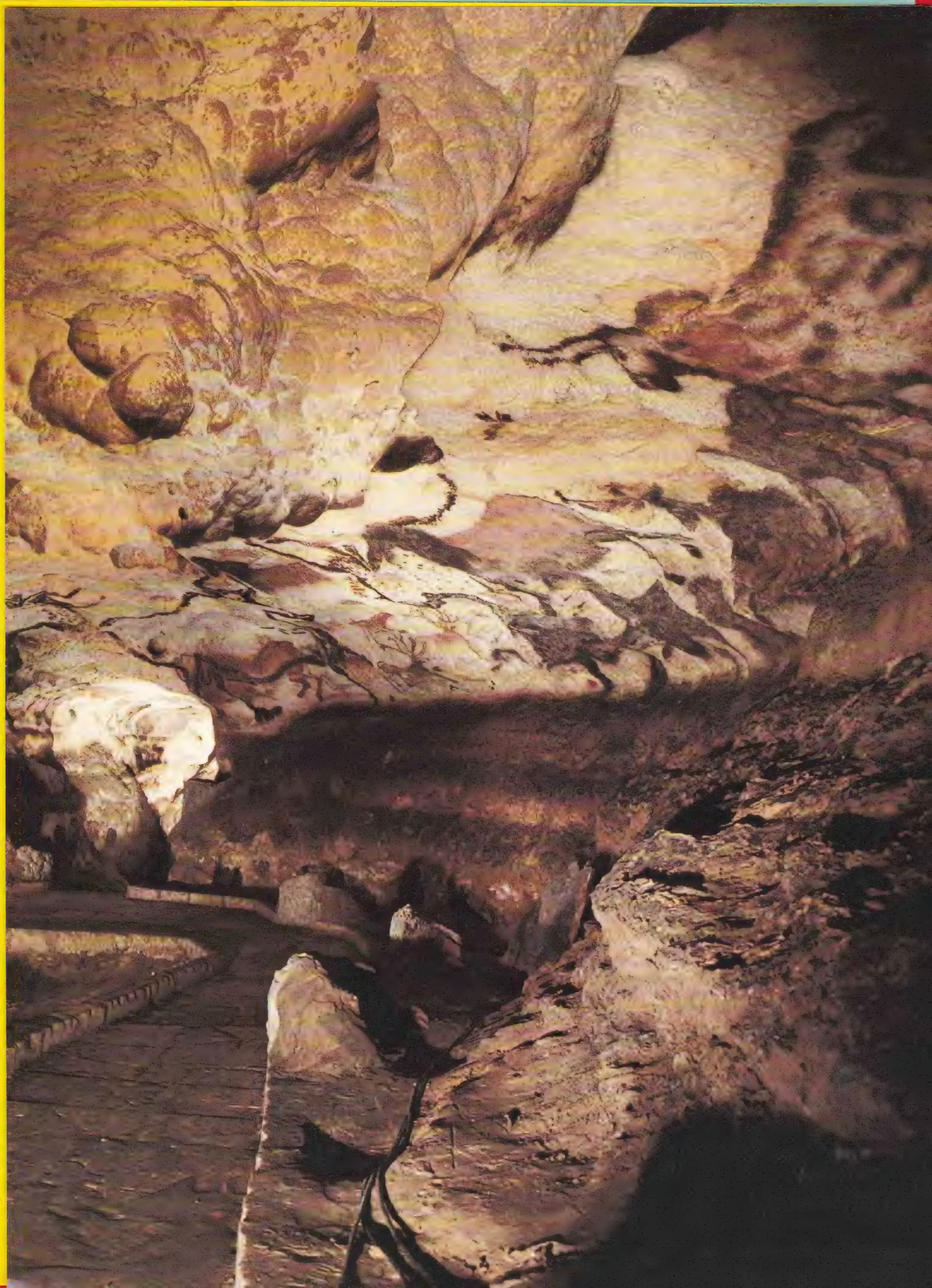
Band 3:
Amphibien und Riesensaurier

Band 4:
Säugetiere und Urmenschen

Band 5:
Die Morgendämmerung der Kultur

Die Geheimnisse der Urzeit:

DIE MORGEN-DÄMMERUNG DER KULTUR



Die Geheimnisse
der Urzeit

Band 5

DIE MORGEN-
DÄMMERUNG
DER KULTUR

Fackelverlag

Die Geheimnisse der Urzeit

Band 1: Der Ursprung des Lebens
Band 2: Das Leben im Meer
Band 3: Amphibien und Riesensaurier
Band 4: Säugetiere und Urmenschen
Band 5: Die Morgendämmerung der Kultur

Die Originalausgabe dieses in mehreren Sprachen veröffentlichten Werkes umfaßt 20 Bände und erscheint unter dem Titel
Il pianeta dell'uomo
im Verlag Arnoldo Mondadori Editore, Verona.
Herausgeber: Mario Andreose
Redaktion und Bildbeschaffung:
Margherita Forestan und Fabrizio Tolu
Graphische Gestaltung: Maurizio Turazzi
Layout: Franco Morati

Originaltexte des Bandes von
Giorgio P. Panini
Deutsche Übersetzung von
Inge Nissen unter Mitwirkung von
Dagmar Aust.

Sonderausgabe für den Fackelverlag,
Stuttgart

Alle Rechte vorbehalten.
Nachdruck, auch auszugsweise,
nicht gestattet.
© 1975 Europa Verlag
Deutsche Übersetzung © 1978
Bibliographisches Institut AG, Zürich
Satz: Bibliographisches Institut AG,
Mannheim, und Beltz-Druck, Hemsbach
(Photosatz Linotron 505 TC)
Gesamtherstellung:
Arnoldo Mondadori Editore, Verona
Printed in Italy

Inhalt

Rückbesinnung auf die Vergangenheit 5

Der Mensch lernt, Mensch zu werden 17

Halbwegs am Ziel 33

Das obere Paläolithikum 47

Zwischenspiel 73

Die Produktion von Nahrungsmitteln 85

Die Ausbreitung der Töpferei 97

Die neolithische Revolution als ökologische Krise 119

Vom Stein zum Metall 133

Das rote Metall 151

Bronze und Eisen 183

Ägypten 219

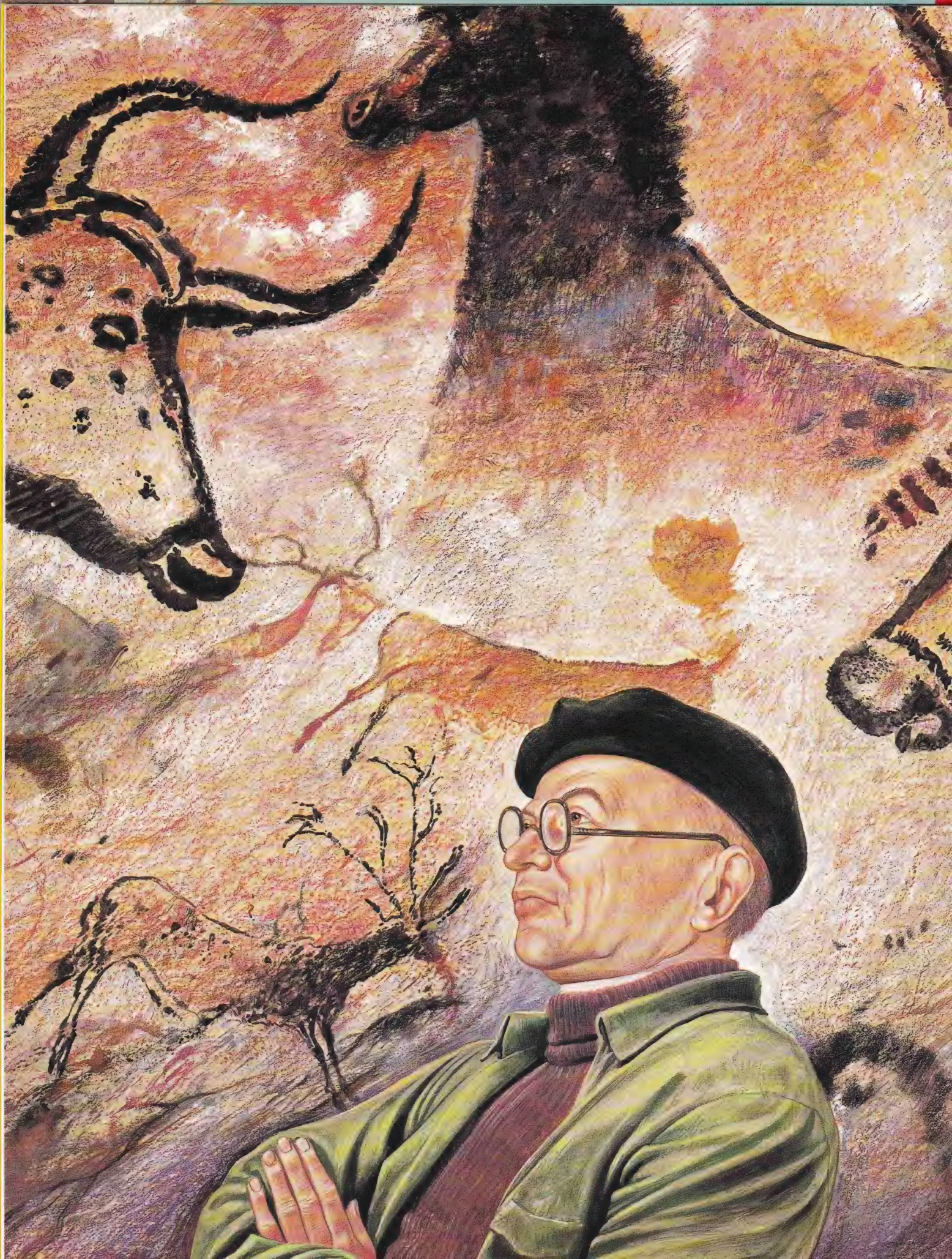
Mesopotamien und Anatolien 239

Indus und Hwangho 253

Bibliographie 261

Bildquellennachweis 263

Register 265



Rückbesinnung auf die Vergangenheit

Der Werkzeugmacher

Die Erforschung der weit zurückliegenden Vergangenheit des Menschen besteht nicht allein in der äußerst genauen Untersuchung von Knochenfragmenten, in der Messung des Fassungsvermögens fossiler Schädel oder in dem Vergleichen von Zahnbögen; denn auch kulturelle Phänomene spielen eine sehr wichtige Rolle. Von dem Augenblick an, in dem der Mensch sich von den anderen Primaten zu unterscheiden begann, dadurch daß er anfing, die ersten Werkzeuge herzustellen, wurde er zu einem „kulturellen Tier". Daß die erstaunlichen künstlerischen Zeugnisse unserer vorgeschichtlichen Ahnen nicht nur bewundert werden, sondern auch zur Evolutionsforschung beigetragen haben, verdanken wir Männern wie Henri Breuil. Die Bilder in den Höhlen von Lascaux oder Altamira sind nicht nur Objekte der Kunstgeschichte. Sie dokumentieren auch grundlegende Phasen der Entwicklung des Menschen.

Die Entzifferung der Frühgeschichte des Menschen ähnelt dem Bemühen, sich an eine weit zurückliegende Phase des eigenen Lebens zu erinnern. Je mehr sich die Erinnerung mit dem verbindet, was uns zeitlich näherliegt, desto klarer wird sie. Es fallen uns dann sogar bestimmte Details ein. Die Erinnerung wird lebhafter.

Der argentinische Dichter Jorge Luis Borges (geb. 1899) erzählt die Geschichte eines jungen Mannes, den die Erinnerung nicht schlafen läßt. Er erinnert sich an alles, wirklich alles, was der Menschheit, seit es Menschen auf der Erde gibt, zugestoßen ist. In seinen langen Tag- und Nachtwachen erlebt er die großen Erfahrungen der Menschheit wieder – und die kleinen: Wie gewichtig etwa ein Blick, ein Handschlag, die Farbe des Himmels an diesem oder jenem bestimmten Tag in der Geschichte der Menschheit war. Er vereinigt in seiner Erinnerung die Erfahrungen und Nöte aller Menschen, das Los aller Individuen, die je gelebt haben.

Mit unserem Geschichtsverständnis, das vielleicht die herausragendste Errungenschaft unserer Zeit ist, sind wir in einer etwas anderen Lage: Vergangenes belastet uns nicht und bedrängt uns nicht. Wir brauchen unserere Erinnerung nicht zu vervielfältigen und aufzusplittern; wir sind auch nicht gezwungen, unsere Geschichte als eine Folge singulärer Episoden nachzuerleben. Es geht vielmehr darum, unsere Geschichte als Geschichte einer einzigartigen Gattung und ihrer Selbstbehauptung im großen Drama des Lebens auf unserem Planeten zu begreifen. Die Geschichte des Menschen auf dem Planeten Erde ist ein Teilabschnitt der Geschichte des Lebens, und es ist sehr wichtig, die Glanzpunkte dieses Dialogs – oder Kampfes – des Menschen mit seiner Lebensumwelt aufzuzeigen. Dabei gilt für den Unterschied zwischen der Frühgeschichte dieses Kampfes und unserem eigenen Zeitalter unser obiger Vergleich: Was gestern geschah, ist uns näher als das, was wir in unserer frühen Kindheit taten oder fühlten. Wollen wir tiefer eintauchen in die Vorgeschichte unserer Gattung, dann wird trotz allem zunächst unsere unmittelbare Vergangenheit – die zudem reichlich dokumentiert ist – unseren Geist fesseln: als eine höchst vielgestaltige und verflochtene Ereigniskette, in der die verschiedenen Formen menschlichen

Unsere Vorfahren im unteren Paläolithikum erlebten Naturphänomene ihr Leben lang vermutlich mit Angst, Neugier und Verwunderung; das gilt besonders für das lebensspendende Feuer einerseits und das Eis andererseits, das große Teile der Kontinente bedeckte. Aber ergeht es uns heute nicht ganz ähnlich? Die Aufnahme zeigt den Berg Ätna auf Sizilien im Winter.

Einsatzes, menschliche Leidenschaften und praktische Interessen eine immer bedeutendere Rolle spielen.

Wir dürfen bei allen unseren Bemühungen die unaufhörliche und vielfältige Beziehung des Menschen zur Welt um ihn herum nie aus den Augen verlieren. In dieser Verflochtenheit fassen wir den wahren Ursprung aller Abenteuer der Art *Homo sapiens* auf der Erde: In Hunger, Furcht und Neugier, im Wissenstrieb wurzeln alle großen Ereignisse der Weltgeschichte. Soziale Beziehungen verdeckten diese Grundsteine, formten sie um, ohne sie aus dem Weg zu räumen, und schufen somit gleichsam neue Zapfen, um die sich die Räder unseres Karrens drehen. Unsere Bewußtheit setzt uns instand, unsere Vergangenheit zu erforschen (trotz der Schlaglöcher, mit denen auf dem langen Weg noch zu rechnen ist) und die Höhe- und Wendepunkte in der Auseinandersetzung zwischen Mensch und Ökosphäre bewußt zu machen.

Die großen ökologischen Krisen der Erde haben Arten und ganze Gruppen von Lebensformen verschwinden und andere dafür neu auftauchen lassen (das sinnfälligste Beispiel ist die Urkrise, die die notwendigen Vorbedingungen für Leben überhaupt schuf). War jener junge Mann bei Borges noch durch die fragmentierte und individualisierte Erfahrung unseres Lebensganzen überfordert, so brauchen wir uns lediglich an die großen ökologischen Krisen zu halten, die der Mensch ausgelöst hat. In ihnen werden die grundlegenden historischen

Triebkräfte im Hinblick auf Ursprünge, Folgen und Reaktionen verständlich. In unserer Untersuchung werden wir den Krisenmomenten, in denen derartige grundlegende „Wahlentscheidungen" vollzogen wurden, breitere Aufmerksamkeit zuwenden.

Die Paläontologen kennen eine Reihe von Arbeitshypothesen zur Unterscheidung und Identifikation der verschiedenen Stadien der menschlichen Entwicklung. In diesen Hypothesen spielt die Tatsache, daß die Fähigkeit, Werkzeuge zu erdenken (insbesondere Schneidwerkzeuge), allein dem Menschen zugeordnet ist, eine fundamentale Rolle. Wie wir bereits sahen, läßt diese Hypothese viel Raum für Fragen und Zweifel hinsichtlich der eindeutigen Unterscheidung zwischen nichtmenschlichen Primaten und dem Menschen.

Eine Untersuchung des Verhaltens unserer zeitgenössischen „Vettern", der Menschenaffen, bestätigt folgende Vermutung: Die ersten Hominiden benutzten „Werkzeuge" aus Holz und griffen nach Steinen zuerst nur, um sie ihren natürlichen Feinden bzw. ihren Beutetieren entgegenzuschleudern. Die Hominiden vom Typ Australopithecus waren wahrscheinlich die ersten, die auf die Idee kamen, ihre natürlichen physischen Möglichkeiten zu erweitern, indem sie Äste und Dornen benutzten oder indem sie Steine schleuderten, um die Reichweite ihrer Arme zu vergrößern. Keine wie auch immer geartete Spur dieser Tätigkeiten existiert mehr. Lediglich die „bearbeiteten" Kieselsteine

Dokumente menschlicher Tätigkeit aus der Vorgeschichte und aus geschichtlicher Zeit. Rechts ein Faustkeil des Moustériens, der vor 50 000 Jahren entstand. Unten ein goldener Becher (mit Inschrift) des siebten Jahrhunderts v. Chr. aus Olympia.

erlauben es, den Bearbeiter als Angehörigen der Gattung Mensch zu identifizieren. Die Voraussetzung für eine solche Identifikation ist aber, daß die Werkzeuge und die Hominidenknochen, die in Schichten nahe beieinander gefunden wurden, auch zeitlich zueinander gehören.

Die Entdeckung von Werkzeugen allein ist kein zuverlässiges Indiz für die Anwesenheit von Menschen in einem Gebiet. Ein Beispiel dafür sind die ersten Ausgrabungen in Amerika: Wir wissen, *was* das Lebewesen herstellte, das in San Diego oder Lewisville siedelte, doch ist uns nicht klar, *wer* dieses Individuum war und in *welcher Epoche* es dort hauste. Dasselbe gilt für die Knochenfunde. Die Arbeitshypothese vom Menschen als Werkzeugmacher ist unter solchen Voraussetzungen noch nicht zu verifizieren, und wie bei späteren Entdeckungen von Richard Leakey in der Nähe des Rudolfsees in Kenia ist die Kontroverse über die Bezeichnung „Mensch" durchaus noch nicht ausgestanden. Es gibt allerdings auch Fälle, in denen wir mit Bestimmtheit sagen können, daß Knochen und Werkzeuge zusammengehören. Diese Feststellung bringt uns mit einem Schlage uns selbst näher, d. h., wir befinden uns jetzt in der Zeit vor weniger als einer Million Jahren.

Fragen der Zuordnung

Wir verlassen nun das Gebiet der Paläoanthropologie und wenden uns dem prähistorischen oder vorgeschichtlichen Zeitalter zu. Gewiß, die wissenschaftlichen Bezeichnungen, die wir gebrauchen, sind nicht sehr präzise, aber da wir ohne sie nicht auskommen, wollen wir versuchen klarzustellen, was sie beinhalten.

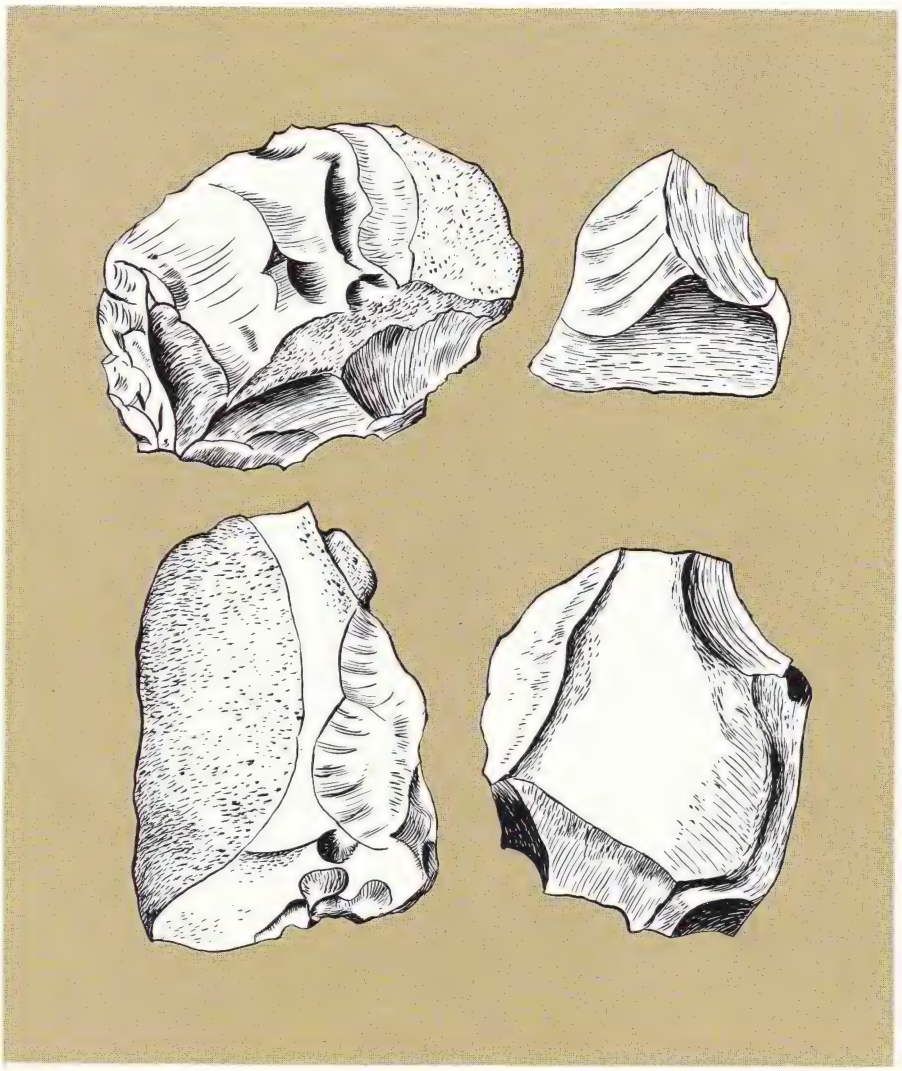
Der Begriff *Vorgeschichte* umfaßt die ganze sich über mehrere hunderttausend Jahre erstreckende Periode in der Menschheitsgeschichte, für die keine schriftlichen Zeugnisse vorliegen. Die Bezeichnung wurde 1851 von Daniel *Wilson* geprägt. Allerdings sind wir im Augenblick nicht an der ganzen Periode, sondern nur an deren erstem Teil interessiert.

Bis zum Ende des 18. Jahrhunderts wurden Steinwerkzeuge menschlicher Herkunft sehr phantasievoll gedeutet. Erst 1847 veröffentlichte der Archäologe Jacques *Boucher de Perthes* eine Schrift, in der der Zusammenhang zwischen den sog. „Blitzsteinen" oder „Hexenzungen" und der Entwicklung des Menschen sowie der Kultur hergestellt wurde. Allerdings gab es auch schon früher einige Gelehrte, die eine Bearbeitung dieser Gegenstände von menschlicher Hand vermuteten; das Alter der Steine konnten sie freilich nicht bestimmen.

Boucher de Perthes und Wilson bezogen den Werdegang des Menschen in die noch unausgelotete Urgeschichte ein. Dadurch wurden diese Kuriosiäten plötzlich mit geschichtlicher Würde ausgestattet. Es gab jedoch viele andere Gegenstände, die bisher noch keinen wissenschaftlichen Namen erhalten hatten, der auf ihre Herkunft hätte hindeuten können, und die nun ebenfalls eingeordnet werden mußten. Das löste zunächst große Verwirrung aus, nicht zuletzt deswegen, weil die gerade eben nachgewiesene und benannte Periode bisher ungeahnte Zeitabläufe zu umfassen schien.

Damals war die Stratigraphie so gut wie unbekannt, und sehr oft hielt man die einzelnen Fundsachen lediglich für Singularitäten. Daraus erklärt sich der zufällige Charakter des damaligen Wissens – gerade darum, weil es keine Arbeitshypothese gab, die flexibel genug war, um auf alle Einzelfunde bezogen werden zu können.

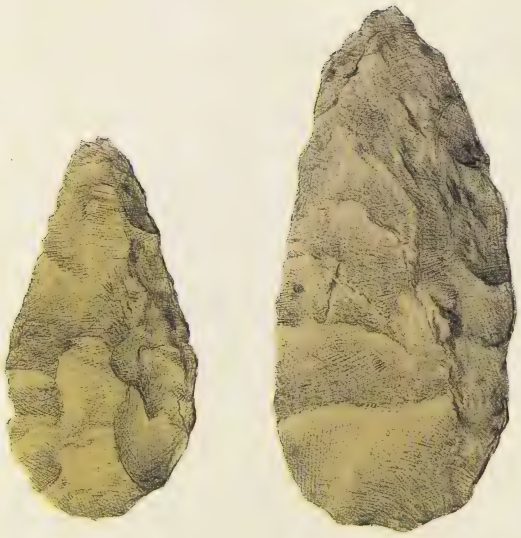
Rechts: Um einen kulturellen Horizont auszumachen, besonders wenn es um uralte Ablagerungen geht, müssen wir in einer bestimmten Gegend nicht nur alle menschlichen Knochen wieder zusammensetzen, deren „Besitzer" dort einst lebten, sondern auch die Werkzeuge, die in derselben Schicht lagern. Fehlt das eine oder das andere, so wird dies unter Wissenschaftlern sehr unterschiedlich bewertet. Von den Funden aus Texas Street, Kalifornien, z. B. (in dieser Zeichnung dargestellt) behaupten manche Forscher, daß es sich hier eindeutig um Werkzeuge von Menschenhand handle. Auf Grund einer genauen Datierung der Funde mit Hilfe der C-14-Methode wurde angenommen, daß sich schon vor mindestens 40 000 Jahren Menschen in Amerika niedergelassen hätten. Andere Forscher wiederum bezweifeln, daß diese grob bearbeiteten Steinobjekte „Werkzeuge" seien, da hier keine menschlichen Knochen gefunden wurden.

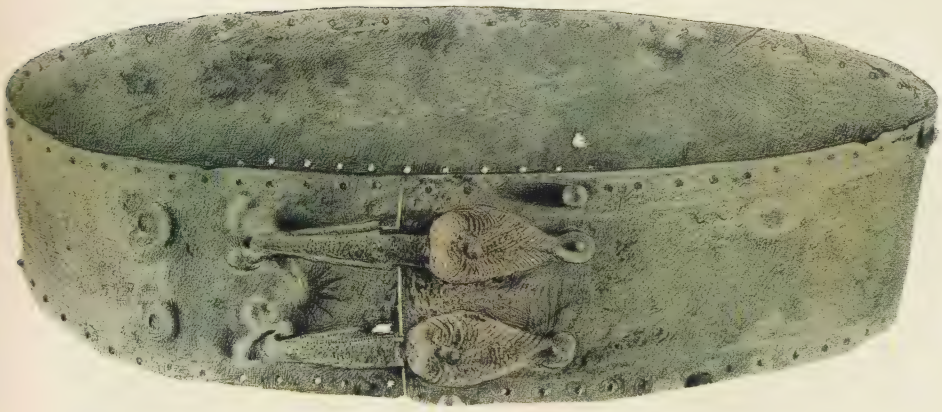


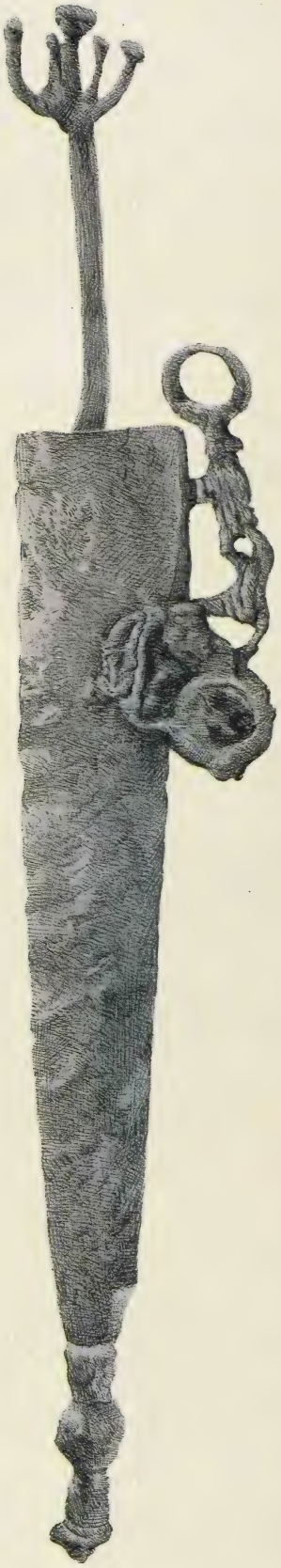
Die Altertumsforscher, die das Material einordnen wollten, und die Museumsdirektoren hatten es gewiß nicht leicht: Obwohl all die seltsamen Objekte, die früher als Kuriositäten oder Launen der Natur galten, jetzt auf einmal zum vorgeschichtlichen Beweismaterial erklärt wurden, warf man sie dennoch nach wie vor alle in einen Topf. Daß dieser Zustand sich bald änderte, verdanken wir dem Museumsdirektor Christian *Thomsen* vom Nationalmuseum in Kopenhagen, der die gesammelten Stücke sowohl nach ihrer Form als auch nach dem Material ordnete, aus denen sie gemacht waren. Schon 1819 hatte er vorgeschlagen, Funde aus der Vergangenheit drei verschiedenen Zeitaltern zuzuschreiben: der *Steinzeit,* der *Bronzezeit* und der *Eisenzeit.* Damit war es wenigstens möglich, die Vitrinen, in denen die vorzeitlichen Gegenstände lagen, zu beschriften.

Diese Methode war so einleuchtend, daß sie noch heute angewendet wird. Sie dient dazu, die unzähligen Materialien, die in den vorgeschichtlichen Museen in aller Welt untergebracht sind, zu katalogisieren. Eine solche Unterteilung mag uns oberflächlich vorkommen, besonders wenn man bedenkt, daß dabei die Keramik ausgeklammert bleibt.

Rechte Seite: Die Unterteilung der menschlichen Vorgeschichte, wie sie von Thomsen vorgeschlagen wurde, in Steinzeit, Bronzezeit und Eisenzeit, basiert einzig und allein auf den Materialien, aus denen Gegenstände der jeweiligen Periode hergestellt wurden. Heute erscheint uns dieses „System" ziemlich unzulänglich und veraltet. Wir wissen jetzt, dank der gewaltigen Fortschritte in der Archäologie, daß die erste Epoche, die Steinzeit, erheblich länger als die beiden anderen dauerte.





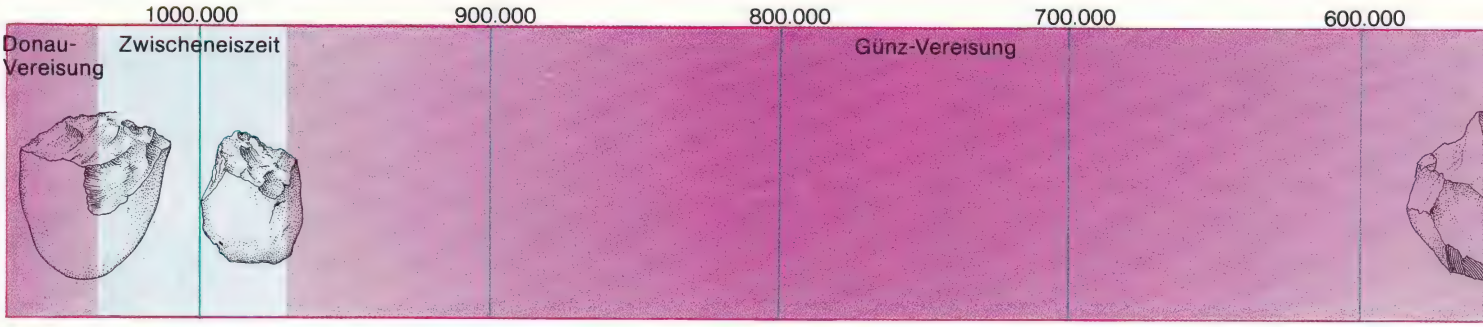


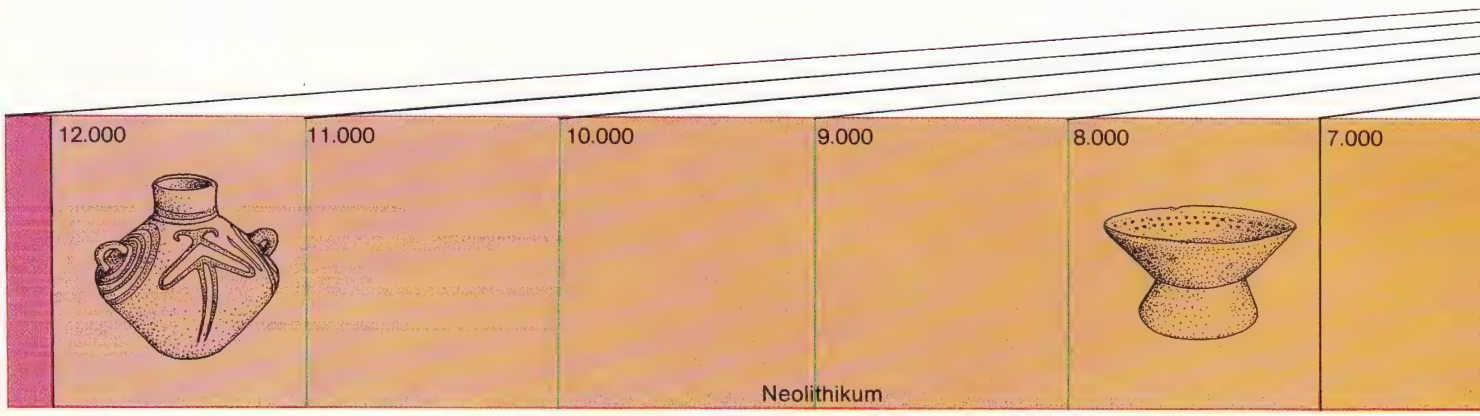
Vielleicht gab es damals in den Vitrinen des Kopenhagener Museums keine Bruchstücke von Tongefäßen, vielleicht waren sie auch seltener als die Stein- und Metallüberreste. Jedenfalls wurde im *Dreiperiodensystem* (so hieß Thomsens System) die Keramik als weiteres Material, welches das System noch differenzierter gemacht hätte, „übersehen".

Im Laufe der Zeit versuchte man, das Thomsen-System zu verbessern. Das Ergebnis stellte für die Archäologie das dar, was hundert Jahre früher Carl von Linnés Systema naturae für die Zoologie bedeutet hatte. Es wurden Unterarten, Unterodnungen und Unterfamilien festgelegt, um verschiedene Perioden innerhalb der drei Hauptunterteilungen gegeneinander abzugrenzen. Nach und nach wurde dann der große Einschnitt sichtbar, der die *Steinzeit* in zwei Teile gliedert. Die ganze Periode wurde jetzt etwas zutreffender in *Paläolithikum* (*Altsteinzeit;* diesem Begriff wurden Stein-, Elfenbein- und Hornwerkzeuge zugeordnet) und *Neolithikum* (*Jungsteinzeit;* dieser Begriff wurde auf Steinwerkzeuge jüngeren Datums und die aufkommende Töpferei bezogen) unterteilt. Das korrigierte den „Mangel" in Thomsens System.

Die neolithische Revolution

Natürlich war noch ein langer Weg zurückzulegen, bis alle vorhandenen Belege in überzeugender Weise einer zusammenhängenden Geschichte zugeordnet werden konnten. Auch jetzt noch fand man die Unterteilungen, die von der Erscheinung der Gegenstände her gewonnen worden waren, oft ungenau für die Beurteilung der Beziehungen zwischen Mensch und Umwelt, die uns in dieser Untersuchung beschäftigen.



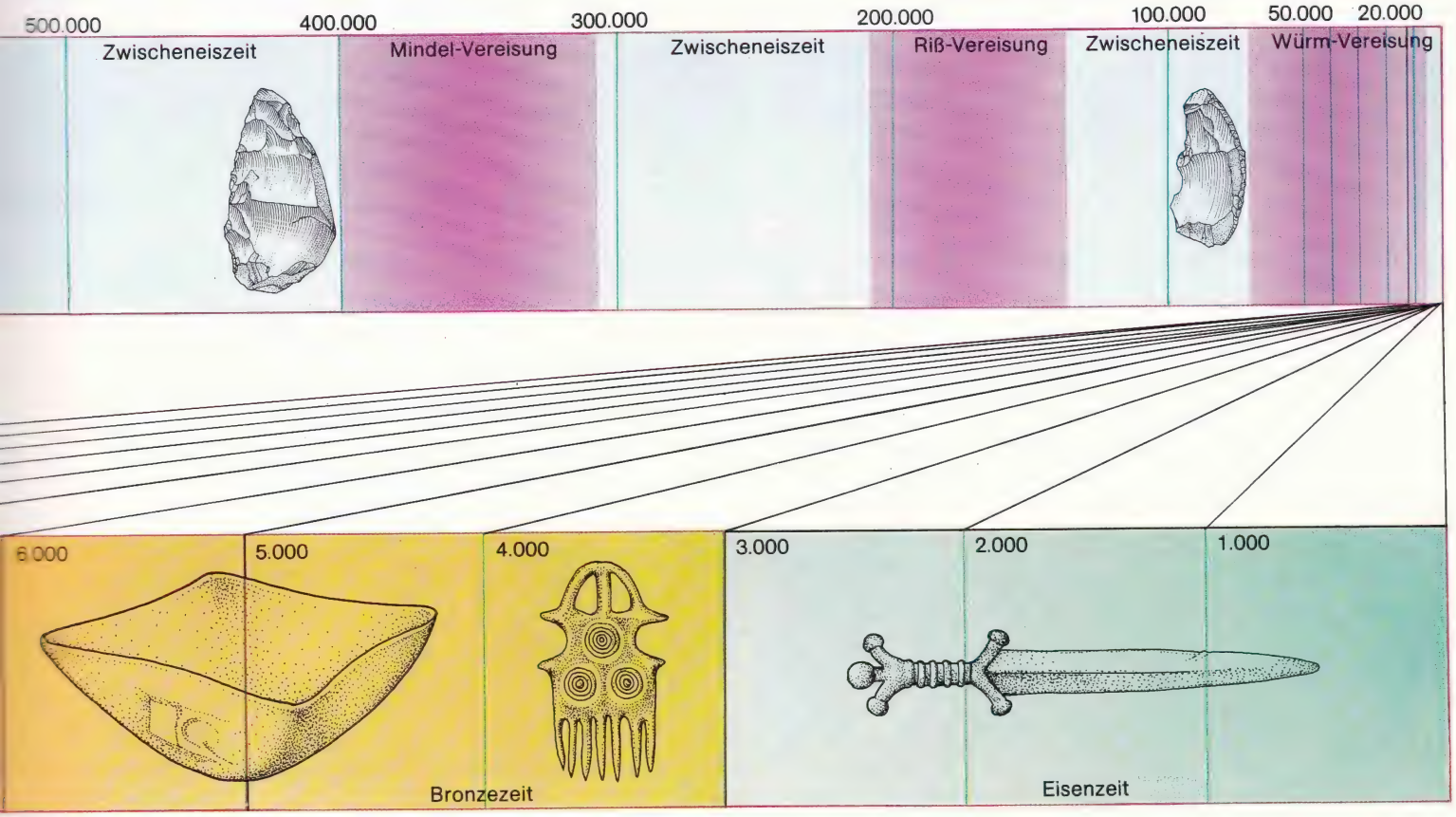


Was wir herausfinden müssen, ist, wie und warum der Mensch dieses oder jenes Werkzeug herstellte. Nur mit einem solchen Wissen ist es uns möglich, anhand der Ausgrabungsfunde das Nacheinander von Vorgängen zu erkennen, das uns die grundlegenden Elemente des „ökologischen Dialogs" aufzeigt, d. h. die entwicklungsmäßige und periodische Wiederkehr von Bedingungen, die ähnliche Vorgänge determinieren.

Wir werden bei unserem Studium der Fundgegenstände eine größere Bestimmtheit erreichen und werden die großen Kapitel der Vorgeschichte in eine Reihe von Unterkapiteln einteilen können, wenn wir erst mehr über diese Funde wissen, wenn unsere Methoden und Techniken verfeinert sind und andere Belege aus weit entfernt liegenden Gebieten zum Vergleich herangezogen werden können (was ja heute auf Grund der besseren technischen Möglichkeiten unseres Zeitalters kein Problem mehr ist). Wir werden dann auch den „Lebensstil" unserer Vorfahren rekonstruieren können, und wir werden eine leistungsfähige typologische Klassifikationsmethode vorstellen können. Kurzum, wir bemühen uns um ein zunehmend detaillierteres Verständnis dessen, *wie* die Werkzeuge gemacht wurden, um das *warum* und die *Bedingungen,* unter denen sie hergestellt wurden, zu begreifen.

Um auch umgekehrt den großen Bogen der Menschwerdung nachzuvollziehen, mußten wir in der gleichen Weise zusammentragen und deuten, was wir über das *Verhalten* unserer Vorfahren wissen, soweit wir darüber überhaupt schon im Bilde sind. Wir müssen bei jedem Fund oder bei jeder Objektgruppe herausfinden, welche Empfindungen, Notwendigkeiten oder Entscheidungen zur Herstellung der betreffen-

An diesem archäologischen Maßstab erkennen wir, daß die Fertigkeiten des Menschen sich erst relativ spät entwickelten. Tausende von Jahren hindurch wird die Existenz von Menschen auf der Erde lediglich durch Kiesel- und Feuersteine bestätigt. Die verschiedenen Stufen der „Entwicklung" zeigen sich allein in dem größeren oder geringeren Können bei der Bearbeitung: Kieselsteine von vor 100 000 Jahren aus der Olduwaischlucht, Faustkeile des Abbevilliens und Spitzen des Moustériens. Die Entwicklung der Keramik im Neolithikum kennzeichnete den Anbruch der Zivilisation: von Hacılarvasen bis zu den Gefäßen der Donaukulturen mit ihren viereckigen Tüllen. Schnallen und Nadeln und später Dolche und Schwerter führen uns in die Geschichte des Metallzeitalters.



den Werkzeuge geführt haben. Wir werden auf diese Weise nicht nur die jeweilige Geschichte des Menschen und seiner Umwelt, sondern auch den *Ort,* an dem ein Werkzeug hergestellt wurde, rekonstruieren und damit zusammenfassend die *Kultur* eines jeweiligen historischen Augenblicks aufzeigen können.

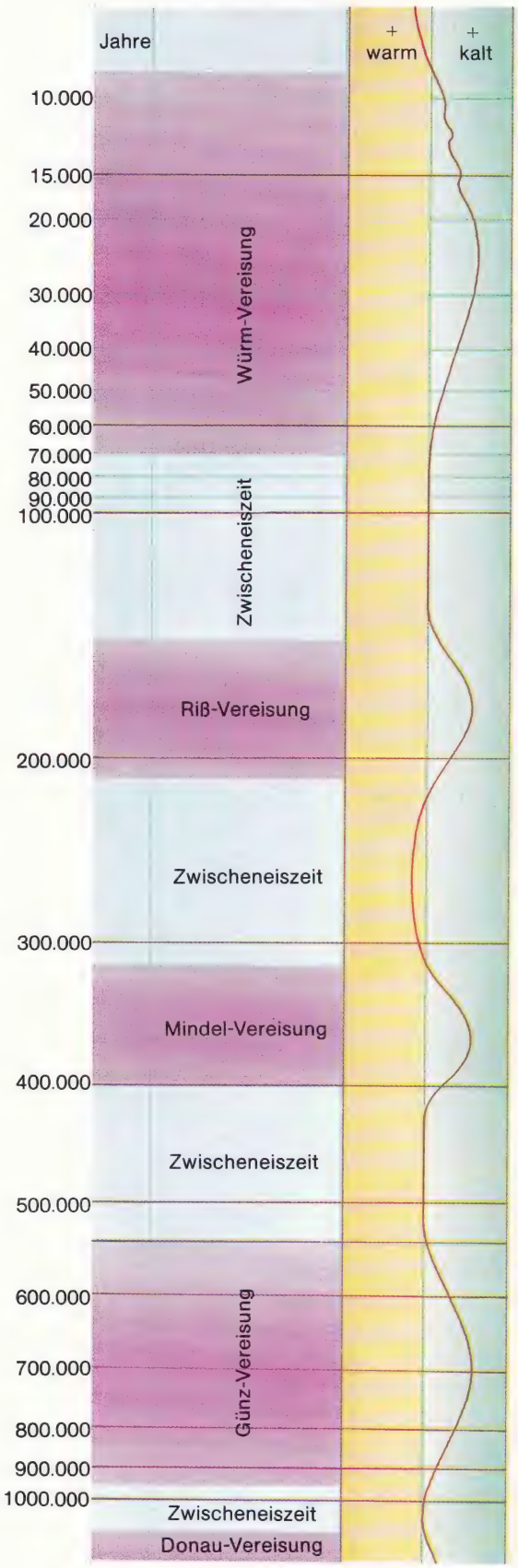
Je tiefer wir in die weit zurückliegende Vorgeschichte eindringen und je weiter wir uns ihrem Beginn nähern, desto schwieriger wird natürlich die Rekonstruktion eines vollständigen „Kultur"bildes. Was wir finden, gibt Aufschluß über die damals angewandten Techniken, über die Geschicklichkeit der Hersteller und über das benutzte Material, darüber hinaus bis zu einem gewissen Grade auch über mögliche Gruppenwanderungen vorgeschichtlicher Menschen. Die Form der Gegenstände verrät uns außerdem einiges darüber, wie und bei welchen besonderen Verrichtungen sie benutzt wurden.

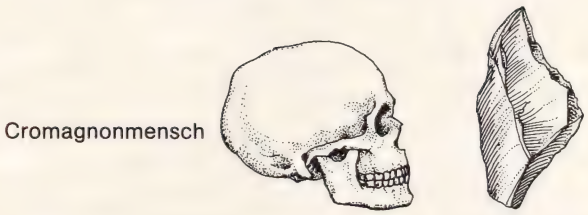
Unser Vorgehen unterscheidet sich ganz wesentlich von dem der Wissenschaftler und Klassifizierer des letzten Jahrhunderts, die der Vorgeschichte in der langen Geschichte der Menschheit kaum Raum zugestanden. Wir wissen heute, daß die Vorgeschichte einen erheblich größeren Zeitabschnitt umfaßte als alle Zeitalter zusammen, die wir

„Geschichte" nennen. Und wir wissen auch, daß innerhalb der Steinzeit die erste oder paläolithische Periode viel länger dauerte als die nachfolgende neolithische. In jener letzteren Periode entwickelte sich auf verschiedenen Stufen ein neuer Arbeitszweig, die Töpferei. Aber die Unterschiede zwischen den beiden Abschnitten der Steinzeit liegen nicht nur darin. Während des Übergangs von der einen zur anderen Phase werden wir vielmehr mit der ersten großen ökologischen Krise, die durch den Menschen ausgelöst wurde, konfrontiert: Im paläolithischen Zeitalter war der Mensch noch *Jäger* und *Sammler;* im neolithischen Zeitalter wurde er zum *Ackerbauer* und *Viehzüchter.*

Dieser bemerkenswerte Unterschied zwischen den beiden Perioden veranlaßte viele Forscher, bei der Beschreibung des Übergangs von einer *neolithischen Revolution* zu sprechen. Ob diese Revolution allerdings zum Überleben der Art Homo sapiens auf der Erde notwendig war, mag man heute bei gründlicherer und objektiverer Betrachtung des Lebens auf der Erde wohl bezweifeln. Andererseits würde natürlich nichts von dem, was heute die Welt des Menschen ausmacht, existieren, wenn es diesen Übergang nicht gegeben hätte.

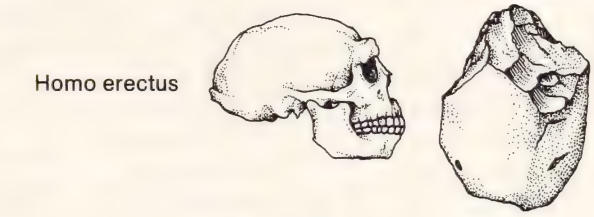
Die Steinzeit wird in zwei Hauptperioden unterteilt: das Paläolithikum und das Neolithikum. Eine der größten ökologischen Krisen, die durch den Menschen selbst ausgelöst wurde, fand in der Übergangszeit zwischen diesen beiden Schlüsselperioden der menschlichen Geschichte statt. Das Verhältnis zwischen dem Menschen und seiner Umwelt änderte sich grundlegend durch den Übergang des Menschen vom Jäger und Früchtesammler zum Ackerbauer und Viehzüchter.


Jahre
+ warm
+ kalt
10.000
15.000
20.000
30.000
40.000
50.000
60.000
70.000
80.000
90.000
100.000
200.000
300.000
400.000
500.000
600.000
700.000
800.000
900.000
1000.000
Würm-Vereisung
Zwischeneiszeit
Riß-Vereisung
Zwischeneiszeit
Mindel-Vereisung
Zwischeneiszeit
Günz-Vereisung
Zwischeneiszeit
Donau-Vereisung


Cromagnonmensch

Neandertaler

Homo praesapiens


Homo erectus

Homo habilis

Der Mensch lernt, Mensch zu werden

Andere wichtige Punkte

Am Anfang des Paläolithikums standen die allerersten Versuche des „Menschen", Werkzeuge herzustellen und schließlich (wenn unsere Arbeitshypothese stimmt) im vollen Sinne Mensch zu werden. Die Hauptfiguren in den Anfangsphasen des Paläolithikums waren der Homo habilis und danach der Homo erectus. Die frühesten Abschnitte dieser Kulturperiode fallen mit den letzten und aufregendsten Kapiteln der Menschwerdung zusammen.

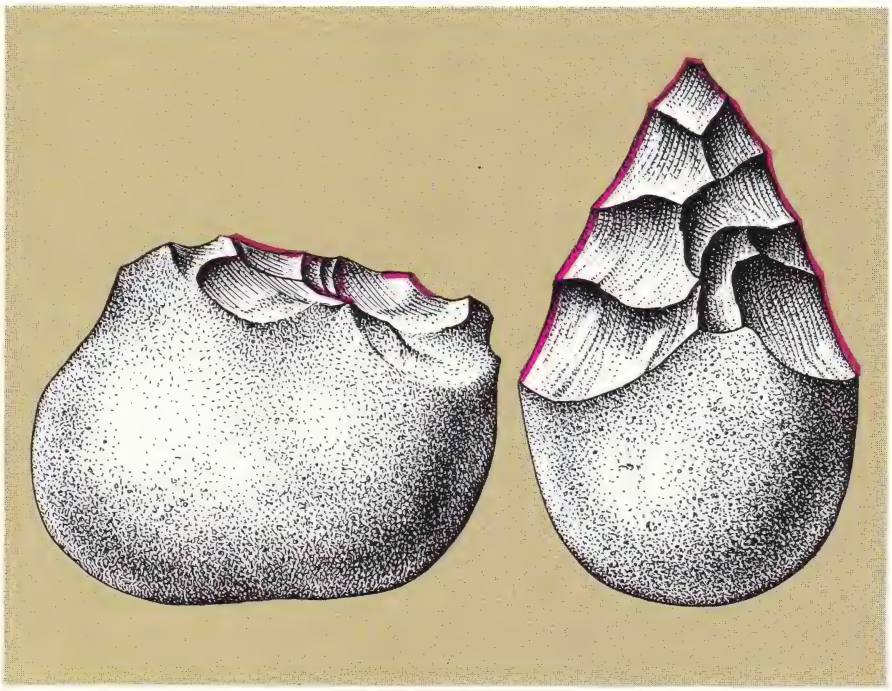
Der Historiker und der Paläoanthropologe versuchen beide, dasselbe verworrene Knäuel zu entwirren. Menschmal arbeiten sie zusammen, manchmal gegeneinander. A. *Leroi-Gourhan* bezeichnete einmal sehr treffend die Vorgeschichte, besonders im Hinblick auf das Paläolithikum, als einen Kreuzweg zwischen Geisteswissenschaft und Naturwissenschaft.

Während die Form der Werkzeuge einheitlicher wird und in diesem offensichtlichen Versuch, eine Art von Symmetrie herzustellen, eine erste Form abstrakten Denkens sichtbar wird, hat der Hauptakteur gewechselt: Der *Homo sapiens* hat die Lebensbühne betreten und begegnet uns als *Homo sapiens praesapiens* und als *Homo sapiens neanderthalensis.* Obwohl das Material, aus dem seine Werkzeuge hergestellt sind, immer das gleiche ist, haben diese mit den Werkzeugen früherer Hominiden (z. B. des Peking-, Heidelberg- oder Ternifinemenschen) wenig gemein; so müssen vor allem Herstellung und Gebrauch anders gewesen sein – eine These, die durch die zunehmende Vielfalt der Werkzeugtypen bestätigt wird.

Noch später, als nur mehr der *Cromagnonmensch (Homo sapiens fossilis)* auf der Erde herrschte, gab es eine noch größere Auswahl von Materialien. Man verwendete auch Knochen, Elfenbein, Muscheln und Geweihe, besonders zur Herstellung von Zierobjekten und Schmuckstücken. Es gab jetzt Anzeichen einer künstlerischen Ausdrucksfähigkeit, die lange Zeit nicht übertroffen werden sollte.

Offenbar entsprechen solche mannigfaltigen Bedingungen, die derart verschiedene Gegenstände hervorbringen, sehr unterschiedlichen Kulturphasen. Daher wird das Paläolithikum folgerichtig in drei

Vorgeschichtliche Zeittafel. Die Entwicklung der Gattung Homo hat sich allen ökologischen Krisen zum Trotz kontinuierlich durch die Jahrhunderttausende vollzogen. Das wird an den Modifikationen der Schädelstruktur vom Homo habilis bis zum Cromagnonmenschen deutlich. Während des Paläolithikums ist die Geschichte der menschlichen Intelligenz und ihrer Errungenschaften vorwiegend eine Geschichte von abgeschlagenen Kiesel- und Feuersteinen.



Rechts: Hauwerkzeuge (Chopper) mit unterschiedlicher Schneidkante.

Hauptperioden unterteilt: *unteres, mittleres* und *oberes Paläolithikum.* Diese Bezeichnungen, die sowohl in der Geologie als auch in der Paläontologie gebraucht werden, beziehen sich auch auf die mögliche stratigraphische Folge der drei unterschiedlichen Phasen.

Behauene Steine und Steinabschläge

Die erste paläolithische Periode, das *untere Paläolithikum,* ist die längste. Wenn wir davon ausgehen, daß Homo habilis vom Australopithecus-Typ A (dem grazilen Dart-Hominiden) abstammte oder wenigstens eng mit ihm verwandt war, dann müssen wir entsprechend annehmen, daß das untere Paläolithikum genau zu der Zeit begann, als unsere hominiden Vorfahren anfingen, die Savanne zu bevölkern und sich zu Fleischfressern entwickelten. In dieser Übergangszeit erkannten die Hominiden erstmals die Vorteile, die sich aus einer „Körperverlängerung" ergaben, wenn man mit Steinen warf oder Äste und Knochen zur Bedrohung oder Verteidigung schwang. Sie entdeckten auch, daß man mit behauenen Kieselsteinen seine Beute in Stücke reißen konnte, also ohne Hilfe von Krallen, die bei diesen neuen „geschickten" Primaten fehlten.

Sogar in dieser primitiven Steinkultur sind zwei Phasen unterscheidbar. Durch das Zuschlagen eines Steins kann eine rauhe Fläche mit einer scharfen Kante entstehen, die zum Schaben und vielleicht auch zum Schneiden brauchbar ist. Ein Stein kann aber auch an beiden Seiten der Schneidkante bearbeitet werden, so daß zwei Flächen entstehen. Die Schneidkante wird dadurch viel schärfer und kann als primitives Messer dienen. Steine mit einer besonders scharfen Kante wurden als Äxte benutzt.

Rechte Seite: In der afrikanischen Savanne (hier eine kenianische Landschaft) haben sich die letzten Phasen der Hominisation vollzogen.

Solche *Hauwerkzeuge (Chopper, Chopping tools),* bei denen ein wesentlicher Teil des ursprünglichen Flints, nämlich die Oberfläche

Links ein Artefakt aus dem Abbevillien. Die breiten, unberührten Cortexflächen zeigen, daß die Oberfläche nicht bearbeitet wurde. Die größten bekannten aus Feuerstein geformten Objekte dieser Art haben eine Ausdehnung von 128 mm. – Rechts ein typischer Faustkeil aus dem Acheuléen. Durch das Behauen eines großen Steinknollens entstanden zwei Flächen (oder Seiten; diese Gegenstände werden daher gewöhnlich als „Bifaziales" oder „Doppelseiter" bezeichnet), deren Kanten scharfe Schneiden bildeten. Der hier abgebildete Faustkeil ist 88 mm lang und wurde aus einem Kalksteinknollen geformt. Die Risse entstanden im Laufe der Jahrtausende durch Temperaturveränderungen.

(Cortex), erhalten blieb, sind typisch für eine Periode, die mehrere hunderttausend Jahre dauerte. Man fand sie in Ostafrika in der Gegend der *Olduwaischlucht* (in Tansania). Sie werden daher als zur *Olduwaikultur (Cldowan)* gehörend klassifiziert.

Der *Ternifinemensch* war der erste Homo erectus, dessen Industrie von Wissenschaftlern einstimmig anerkannt und akzeptiert wurde. Er entwickelte einen neuen Werkzeugtyp: kleinere Feuersteinwerkzeuge, die aus Steinabschlägen geformt wurden. Diese Kultur nennt man *Acheuléen* (nach dem Ort Saint-Acheul an der Somme in Frankreich, wo die ersten Werkzeuge dieser Art gefunden wurden).

Obwohl eine solche Unterscheidung ziemlich überflüssig erscheint, ist dies nicht der Fall. Offensichtlich gibt es gewisse Werkzeuge, die trotz bester Absicht nicht aus einem ganzen Stück Stein zu formen sind. Sie können aber aus Steinabschlägen hergestellt werden, die alle durchweg mehr oder weniger flach sind und verhältnismäßig dünne Kanten haben. (Es sei in diesem Zusammenhang daran erinnert, daß die ganze Bearbeitung ausschließlich mit anderen Steinen erfolgte.) Somit unterscheiden wir zwei Entwicklungszweige in der frühen Steinbearbeitung: Den einen repräsentiert der *Chopper,* den anderen der sorgfältiger bearbeitete *Bifazial* (oder *Doppelseiter*), der durch beidseitiges Beschlagen einer Längskante hergestellt wurde, also zwei bearbeitete Flächen aufwies. Die Werkzeuge, die aus ganzen Steinen bestanden, wiesen im

Gebiete, in denen Faustkeile gefunden wurden (punktiert), und solche ohne Faustkeilfunde (gestrichelt). Im Fernen Osten wurden anstelle des Faustkeils gröbere Hauwerkzeuge hergestellt. Jedoch gibt es mehrere Gegenden (in Europa und in Java), wo beide Werkzeugtypen gefunden wurden.

übrigen eine rundere Form auf. Doppelseiter wurden bereits im sog. *Abbevillien* (benannt nach der nordfranzösischen Stadt Abbeville oberhalb der Sommemündung) hergestellt, wenn auch Werkzeugfunde aus dieser Kulturperiode (die im übrigen primitiver und grober sind als die des Acheuléens) verhältnismäßig selten sind. Häufig sind Reste des Cortex übriggeblieben. Die Schneidkanten sind niemals geradlinig, sondern ausgesprochen wellenförmig.

Die Menschen, die Abbevillienwerkzeuge benutzten, jagten den Elefanten des Südens und mußten sich gegen den Säbelzahntiger verteidigen. Es gibt aber bis jetzt keine zuverlässig nachweisbare Beziehung zwischen menschlichen Überresten und Abbevillienwerkzeugen in irgendeiner paläolitischen Siedlung.

Der *Pekingmensch (Homo erectus pekinensis)* kannte bereits das Feuer und eine gemischte Industrie, die Hauwerkzeuge herstellte. Während in Afrika die primitiveren Olduwaikulturen schließlich durch die Bifazialkultur ersetzt wurden (wie im Falle des Ternifinemenschen), behauptete sich in Asien der Chopper das ganze Paläolithikum hindurch. Man könnte eine Grenzlinie zwischen den beiden Kulturgebieten ziehen, die etwa die bengalische Bucht mit dem Schwarzen Meer verbinden würde. Nördlich dieser Linie gab es nur Hauwerkzeuge, südlich nur Doppelseiter. Für Europa liegen die Dinge etwas komplizierter, da die beiden Arbeitstechniken hier oft in verhältnismäßig benach-

barten Gebieten auftauchen. In Vértesszőllős z. B. wurden nur Chopper gefunden, zusammen mit menschlichen Überresten, die dem Präsapiens zugeschrieben wurden.

Natürlich können in einer systematischen Übersicht viele Aspekte nur angenähert berücksichtigt werden. Darum sollten wir vielleicht eine Einteilung nach Menschentypen erwägen. Wir können z. B. den Doppelseiter einem Zweig des Homo erectus zuschreiben, von dem der Ternifinemensch einen beachtenswerten Vertreter darstellte. Die Hauwerkzeuge dagegen wären dem „östlichen" Zweig dieses Menschentyps zuzuordnen. Tatsächlich wurde der Doppelseiter von den Präneandertalern und den Neandertalern weiterentwickelt und vervollkommnet. Einige Forscher vertraten die These, daß eine stammesgeschichtliche Verbindung zwischen dem Neandertaler einerseits und den beiden Homo-erectus-Vertretern (Ternifinemensch und Heidelbergmensch) andererseits bestehe.

Die Sache wird jedoch durch das, was wir über den *Ngandongmenschen* wissen, kompliziert. Er war der letzte Vertreter des östlichen Zweigs von Homo erectus (wissenschaftlicher Name: Homo erectus soloensis), und seine Kultur war durch die Herstellung von Bifazialen geprägt. Diese Spätform von Homo erectus besaß gewisse Neandertalerzüge, auch in anthropologischer Hinsicht.

Anhand der fossilen Daten, die uns die damalige Tierwelt liefert, können wir die Zeit des Abbevilliens in die Günz-Mindel-Zwischeneiszeit datieren. Das Acheuléen hingegen scheint vom Ende der Günz-Mindel- bis zur Riß-Würm-Zwischeneiszeit gedauert zu haben.

Wollen wir die orientalischen Kulturen auf ähnliche Weise datieren, müssen wir von den fossilen Resten aus der Drachenhöhle von Choukoutien bei Peking ausgehen, die aus der ausgehenden Riß-Vereisung stammen. Die folgenden Phasen sind dann ziemlich klar: Zwischen der Mindel-Riß- und der Riß-Würm-Zwischeneiszeit gab es auf Java das *Patjitan* und auf Burma das *Anyathian* (die letztere der beiden Kulturen existierte während der gesamten Würm-Vereisung). Mit Ausnahme einiger weniger Beispiele von Patjitanbifazialen waren die Werkzeuge beider Kulturen immer Chopper.

Zur gleichen Zeit (bis zum Ende der Würm-Vereisung) gab es in Indien die bedeutsame *Soankultur* (benannt nach dem Soan, einem Nebenfluß des Indus). Diese Kultur scheint Zeiten außerordentlich verfeinerter Bearbeitungsmethoden mit komplizierten Techniken gekannt zu haben, obwohl das Material nur aus Steinen bestand.

Anatomie eines Faustkeils

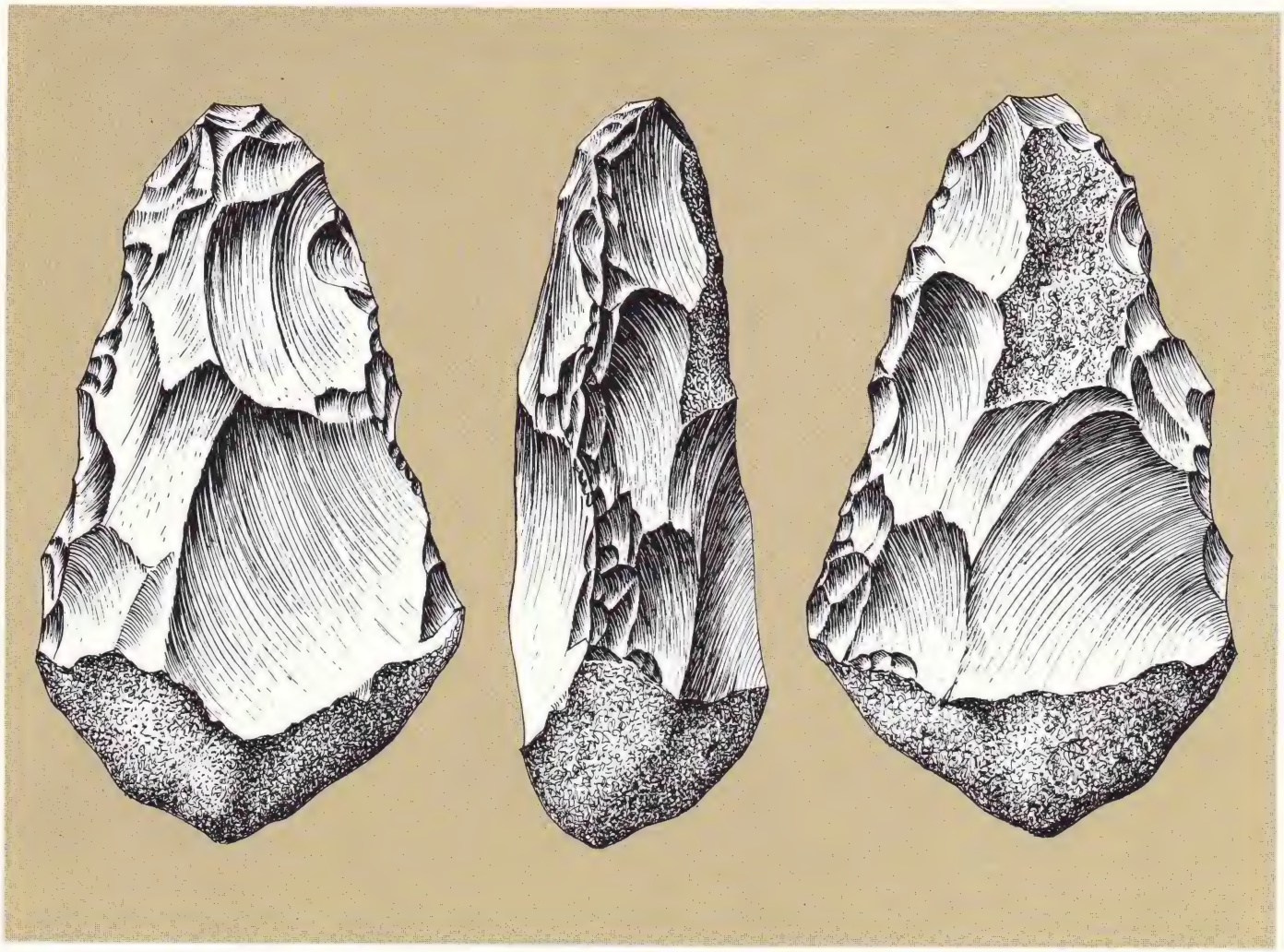
Wir wollen jetzt einmal ein Flintwerkzeug vom Typ Bifazial etwas näher betrachten. Dabei fallen zunächst die unterschiedlichen Bearbeitungsmethoden auf, die sehr oft schon als solche auf einen spezifischen kulturellen Horizont hinweisen. Um einen bearbeiteten Feuerstein, d. h. einen *Faustkeil* (von der Form einer Mandel), mit Verständnis zu betrachten, brauchen wir eine grundlegende Vorstellung von diesem Gerät. Es gibt hier keinen wesentlichen Unterschied gegenüber der Beurteilung eines Kunstwerks, das wir etwa dem Stil der Renaissance zuordnen: Wir haben eine gewisse Anzahl grundlegender Regeln erlernt, die wir auf das zu beurteilende Bauwerk anwenden.

Was die Feuersteine betrifft, so kann man zu Anfang vielleicht noch nicht von einem „Stil" sprechen; für eine spätere Phase allerdings ist dieser Ausdruck durchaus anwendbar.

Eine besonders ideale Umwelt fand der Mensch immer schon in Asien vor. Dies bestätigen die Überreste zahlreicher paläolithischer Kulturen. Das Foto zeigt eine Ansicht der iranischen Hochebene bei Schanidar.

Auch bei der Herstellung des allerprimitivsten Faustkeils muß zunächst durch eine Reihe von gezielten Schlägen ein großes Stück von einem Feuerstein abgehauen werden. Solche Schläge können entweder indirekt oder direkt ausgeführt werden. Im ersten Fall trifft man den zu bearbeitenden Stein mittelbar, und zwar mit Hilfe eines Schlagsteins als Werkzeug (der natürlich ebenfalls ein Stein, d. h. wahrscheinlich ein Faustkeil, war) und eines sog. *Perkussors* als Schlägerstein. Im zweiten Falle schlägt man unmittelbar mit einem (bearbeiteten oder unbearbeiteten) Feuerstein auf den Stein ein.

Schlägersteine (Perkussoren) finden sich in paläolithischen Siedlungen häufig: rohe, unbehauene Feuersteine mit dicht beieinanderliegenden Abschlagstellen in der Mitte einer Fläche. Auch „Abfall" gibt es oft: Feuersteinstücke von Abschlägen. Der Ausdruck „Abfall" scheint unpassend und eher modernen Herstellungsprozessen angemessen zu sein; er wird heute gleichwohl allgemein im Zusammenhang mit solchen vom Menschen hergestellten Gegenständen gebraucht. In der Regel lösen die Abfallfunde, wenn sie isoliert vorkommen, hitzige wissenschaftliche Kontroversen aus. Denn Abschläge, die dem „Abfall" der Feuersteinbearbeitung ähneln, d. h. gewöhnlich unregelmäßig gebrochen sind und dabei zum Teil wesentliche Reste ihrer Oberfläche (Cortex) bewahrt haben, können auch durch thermische Einwirkung erzeugt worden sein: Abwechselnde Erhitzung und Abkühlung können

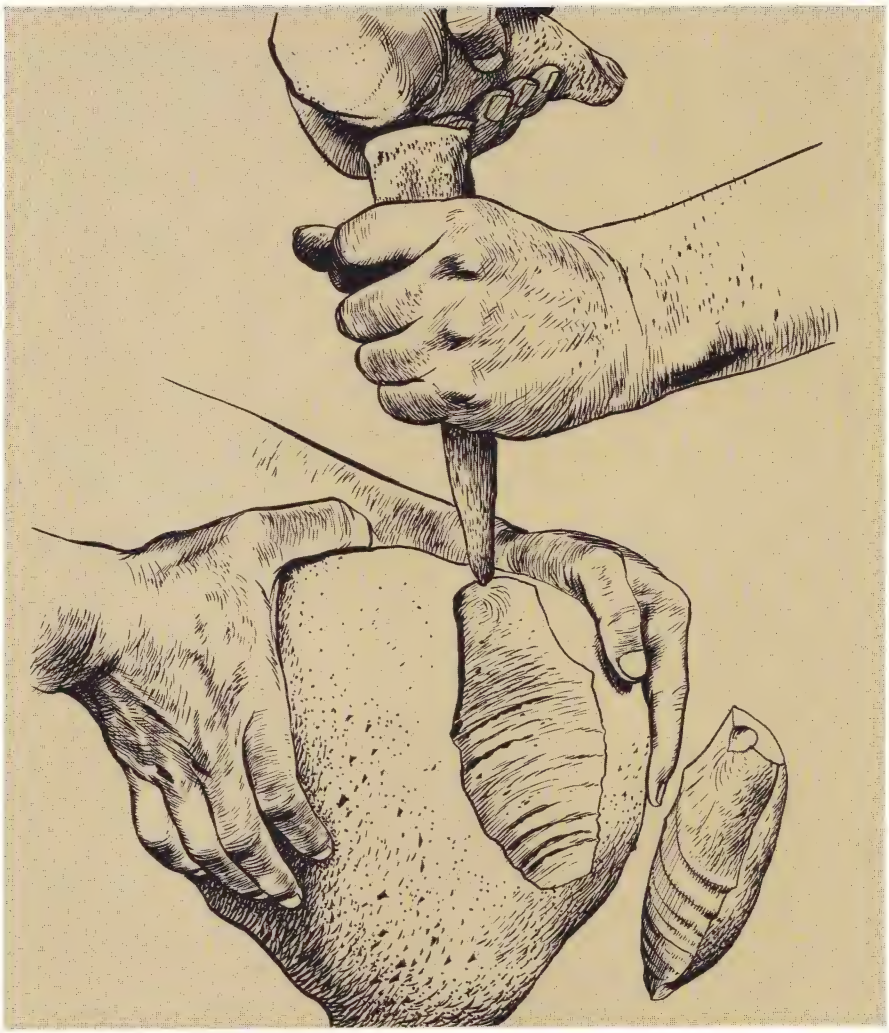


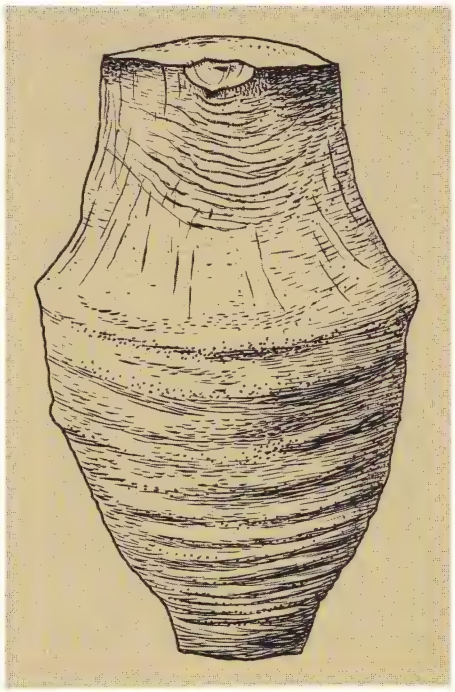
Ein Faustkeil des Abbevilliens, von drei Seiten gesehen. Auf den beiden breiteren Flächen sind die Formen der komplexen Abschlagtechnik erkennbar. Auf der schmaleren Seite kann man deutlich die Klinge bzw. Schneidkante sehen.

bei Felsgestein sehr wohl „Abschläge", auch in sehr kleinen Splittern, bewirken.

Doch zurück zum Faustkeil. Sobald sich die Abschläge vom Stein gelöst haben, besitzen sie einen eindeutigen Charakter: Diejenige Stelle, an der der andere Stein auftraf (die *Perkussionsstelle*), sieht wie eine kleine Prellung aus. Von eben dieser Stelle strahlt konzentrisch eine Serie von Marken aus, die zusammen den sog. *Perkussionsball* bilden (vergleichbar etwa den Wellen in einem Teich, die ein hineingeworfener Stein hervorruft). Andere, weniger gerundete „Wellen" finden sich in der unteren Hälfte des Abschlags. Es sind dies die sog. *Querwellen* oder *Querringe*. Senkrecht zu diesen, wie Strahlen vom Perkussionsball ausgehend, können verschiedene längliche Risse vorkommen. Derjenige Teil des Flints, an dem dicht an der Aufschlagstelle die alte Oberfläche erhalten bleibt, ist die sog. *Ferse*.

Diese ganze Terminologie mag kompliziert erscheinen und ist es vielleicht auch; das Abschlagsverfahren selbst ist jedoch einfach und mit sicheren und konstanten Ergebnissen wiederholbar. Diese „Wiederholbarkeit" stützt wesentlich die Hypothese, daß es im Paläolithikum regelrechte „Handwerkerschulen" gegeben habe.





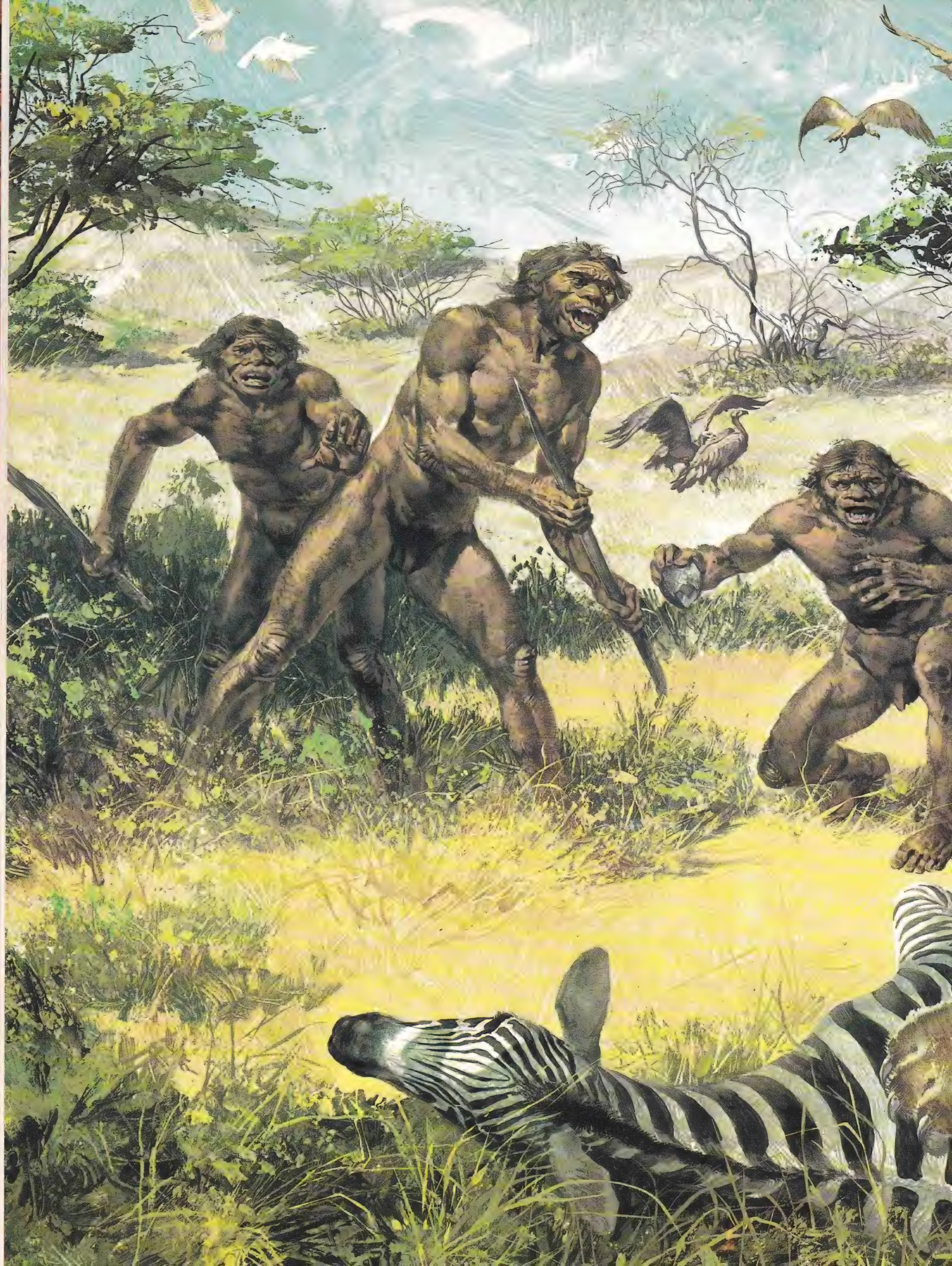
Links und oben: Mit Hilfe eines Schlagwerkzeugs gewann der Werkzeugmacher aus einem Steinknollen eine große Zahl von Abschlägen – alle mehr oder weniger gleichförmig. Von dem kleinen Riß, der den Einschlag kennzeichnet, dehnen sich die konzentrischen Kreise der „Perkussionsknolle" aus; nach unten zu folgen die Kreise der sog. „transversalen Wellen". Gewöhnlich erscheinen mehrere Sprünge im Kern, die wie Strahlen von dem Einschlagloch ausgehen.

Durch gleichmäßige Weiterbearbeitung des vom ursprünglichen Feuersteinbrocken abgeschlagenen Stücks bildete sich schließlich ein mandelförmiger Gegenstand heraus, flach und mit unregelmäßigen, aber scharfen Kanten, eben ein Abbevillienwerkzeug. Wurde die Weiterbearbeitung mit größerer Sorgfalt ausgeführt und folgte man dabei Linien, die strahlenförmig vom Zentrum des Steins ausgingen, erlangte man eine gleichförmigere und geradere und damit zugleich schärfere Schneidkante: ein echtes Acheuléenwerkzeug. Wer das Bedürfnis verspürt, kann auch heute noch eine solche Technik anwenden, die mehr als eine Million Jahre alt ist, und einen Gegenstand herstellen, den man vor 200 Jahren als „Donnerkeil" bezeichnet hätte.

Abbildung auf den beiden folgenden Seiten: Im Paläolithikum, der Altsteinzeit, begann ein neues Kapitel in der langen Geschichte des Lebens auf der Erde: Der Homo habilis schickte sich an, seine Umwelt und die übrigen Tiere mit Hilfe selbstgebastelter Werkzeuge zu beherrschen.

Wettbewerb macht findig

Wie lange mag es gedauert haben, bis ein solches außerordentliches Werkzeug „erfunden" war? In seiner einfachsten Form und bei Anwendung der primitivsten Techniken ist es das einzige Werkzeug, das zu seiner Herstellung keines anderen Werkzeugs bedarf; nichts weiter als andere Feuersteine und die eigenen Hände werden benötigt.



Das Paläolithikum ist noch nicht vorüber: In manchen besonders geeigneten Gebieten der Erde gibt es noch immer menschliche Gemeinschaften, die die Töpferei noch nicht kennen und deshalb nur Steinwerkzeuge herstellen. Diese Menschen leben von der Jagd und sammeln auch wildwachsende Pflanzen als Nahrung, ohne jedoch selber Pflanzen anzubauen oder Viehzucht zu treiben. Eine solche Lebensweise ist nicht unbedingt „primitiv"; sie kann sogar zum Zusammenleben in einer organisierten Dorfgemeinschaft führen. Die Aufnahme zeigt eine Eingeborenengemeinschaft in Südafrika. Die kreisförmigen Hütten sind aus Holz und Stroh gebaut. Diese Materialien stammen aus der Umgebung und werden mit Steinwerkzeugen gesammelt.

Auf dieser Basis einer allerersten „Steinindustrie" bestimmen wir die Entwicklungsanfänge der hominiden Primaten auf ihrem Wege zur vollen Menschwerdung. Wir wollen jedoch nicht den gleichen Fehler begehen wie die Schüler Lamarcks. Der Intellekt des Menschen hat sich nicht etwa einfach deshalb weiterentwickelt, weil der Mensch intelligenter werden „wollte". Es ist vielmehr so, daß sich die Geistesgaben der grazilen Dart-Hominiden in ihren kleinen Ansiedlungen durch den scharfen Wettbewerb mit Arten benachbarter Gebiete und durch die Entdeckung neuer Ernährungsmöglichkeiten verfeinerten. Die Hominiden hatten das Bedürfnis, etwas, das andere Raubtiere von Natur aus (an ihren Tatzen nämlich) schon besaßen, technisch herzustellen: Krallen. Wir wissen auch, daß die latente innerartliche Aggressivität durch solche Werkzeuge verstärkt wurde.

Wir müssen an dieser Stelle betonen, daß die Herstellung der ersten Werkzeuge die Beziehungen des Menschen zu seiner Ökosphäre radikal veränderte: Sie entspricht einem ersten Schritt, der sich von allen anderen Schritten unterschied, die je von anderen Arten unternommen worden waren. Der Mensch versuchte und unternahm etwas, das über alles hinausging, was in seiner „normalen" evolutionären Entwicklung angelegt war. Man könnte auch sagen, daß der Mensch, sowie er die sorgfältig ausbalancierte „Selbstbedienungsstruktur" seiner Ökosphäre erst einmal erkannt hatte, begann, sich aus diesem Zusammenhang zu lösen und in den Vordergrund zu schieben. Er war jetzt darauf aus, allen anderen Nahrungskonkurrenten den Teller gleichsam vor der Nase wegzuschnappen und für sich ein besseres Besteck zu beanspruchen im Vergleich zu dem, was ihm „von Natur aus" zustand.

Oben: Die Ausweitung seiner körperlichen Möglichkeiten, die der Mensch mit der Herstellung der ersten Steinwerkzeuge anstrebte, hätte er auch auf natürliche Weise erreichen können. Aber der „Drang" dazu war weniger intensiv. Hier ist die Hand eines australischen Ureinwohners gezeichnet, dessen Daumennagel sich durch ständigen Gebrauch zu einer starken Kralle umgebildet hat.

Natürlich war die Bedeutung und Wirkung dieser „Entscheidung" zunächst so begrenzt wie die Zahl der ersten Menschen auf der Erde. Dennoch ist der Prozeß, durch den unsere Vorfahren auf diese Stufe gelangten, bedeutungsvoll: Alles begann mit der Beobachtung einer Reihe objektiver Gegebenheiten (z. B. die mühelose aggressive Überlegenheit räuberischer Arten; das spontane Absplittern von Feuersteinen). Es folgte der Versuch, das Beobachtete mit spezifisch „menschlichen" Mitteln zu wiederholen und zu vervielfältigen.

Jede „Entdeckung" in unserer Geschichte auf dem Planeten Erde beruht auf dieser einfachen und grundlegenden Reihenfolge. Auf diese Weise vereinfachen wir etwas, das wir schon vorweggenommen haben: Wir müssen die Anfänge der spezifisch menschlichen Wendung gegen die natürliche Umgebung, die heute erschreckende Formen angenommen hat, an dem Zeitpunkt suchen, als sich die Primaten anschickten, endgültig und im vollen Sinne Menschen zu werden.

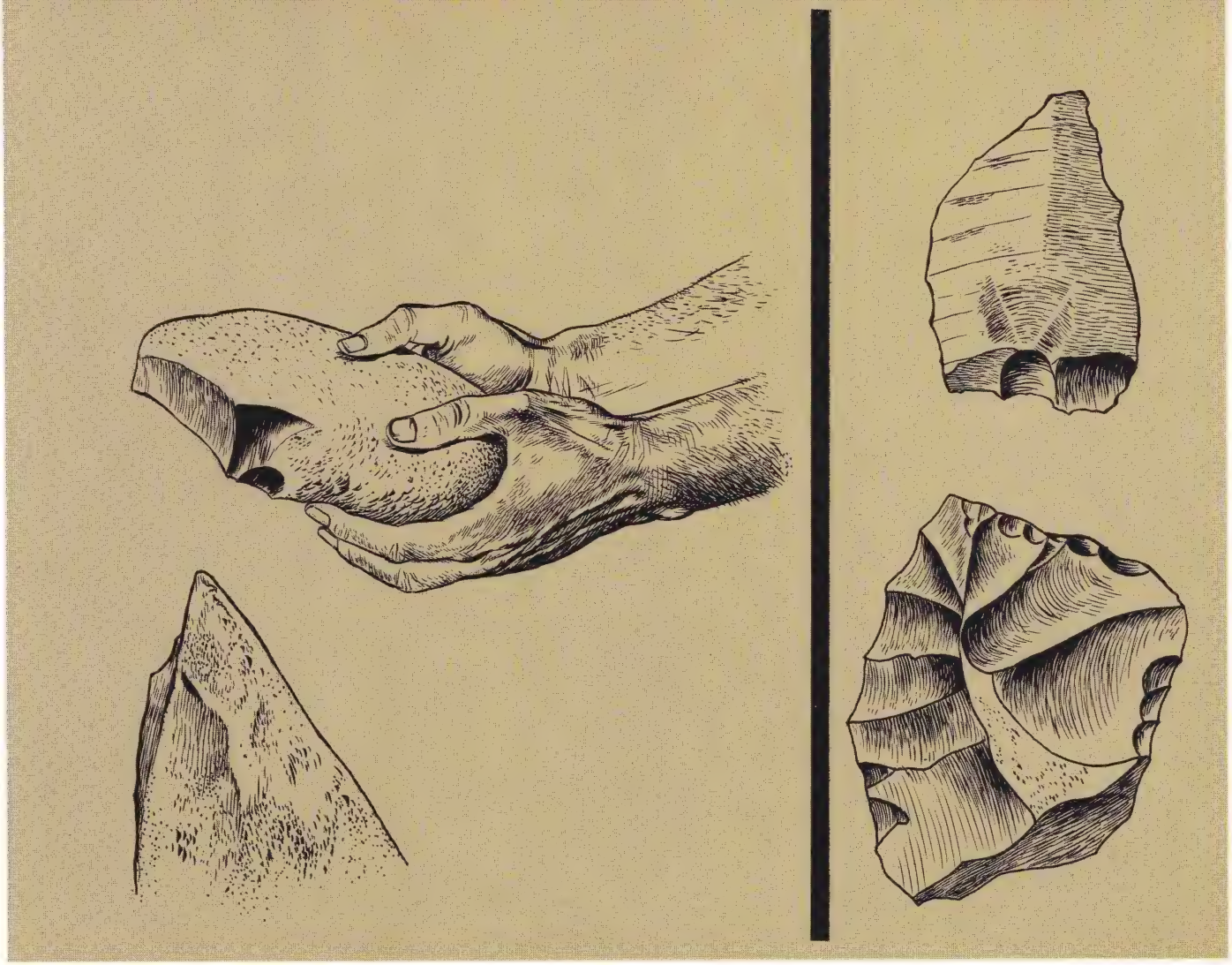
Technische Vielfalt

Der Handwerksprozeß, der „vom Kiesel zum Faustkeil" führte, war für viele unterschiedliche Verbesserungen offen. Die Geschichte der Steinzeit und ihre wichtigsten Kapitel beschäftigen sich ausführlich mit den Verfeinerungsmethoden, die nacheinander eingeführt wurden. Es gab jedoch in diesem Prozeß zwei wesentliche Augenblicke, die hier erwähnt werden müssen, da sie zu den Kulturen des Abbevilliens und des Acheuléens führten. Der erste Augenblick war der des primären Abschlagens, der zweite derjenige, als der Mensch anfing, die äußere Form des Werkzeugs nach einem im voraus festgelegten Muster zu gestalten.

Oben: Ein Feuersteinfragment, das nicht unmittelbar danach bearbeitet wurde, nachdem es vom Steinkern abgespalten wurde. Hier erkennen wir all die typischen Abschlagstellen, die durch den Druck des Schlaggeräts entstanden. – Rechts: Eine Spitze aus dem Tayacien.

Beim elementaren *Abschlagen* wurde der Stein nicht nur durch direkte oder indirekte Perkussion bearbeitet, sondern auch dadurch, daß man eine Flintknolle packte (es mußte eine ziemlich große Knolle sein) und sie gegen einen anderen auf dem Boden liegenden Flint schlug, der als Amboß diente. Um ein mehr oder weniger flaches Flintstück abzuschlagen, mußte man den Amboßflint mit der schrägen Fläche der Knolle treffen. Diese Bearbeitungstechnik und das Werkzeug, das daraus entstand, werden als *Clactonien* bezeichnet (nach Ausgrabungen in Clacton on Sea in Essex, England). Alle Clactonienwerkzeuge haben einen Cortex, der mit der Schneidkante schräg zur Fläche verläuft. Gewöhnlich sind die Werkzeuge dick und ziemlich gekerbt. Die Abschlagskerben sind groß und haben häufig eine wellenförmige Schneidkante. Die Clactonientechnik stellt keine eigene Kultur dar, da die daraus gewonnenen Formen sich nicht wesentlich von denen der Abbevillien-Acheuléen-Kultur unterscheiden, die allem Anschein nach rund 300 000 Jahre dauerte, von der Günz-Mindel-Zwischeneiszeit bis zum Beginn der Riß-Vereisung.

Die Technik, Steine auf einem Flintamboß zu bearbeiten, kam auch an einem anderen Ort und in einer anderen Kultur vor. Es war dies das *Tayacien* (benannt nach dem Ort Les-Eyzies-de-Tayac-Sireouil in der Dordogne). Hier sind die Werkzeuge immer ziemlich plump und klein. Das „Kulturzentrum" der Tayacienindustrie lag in Fontéchevade. Der

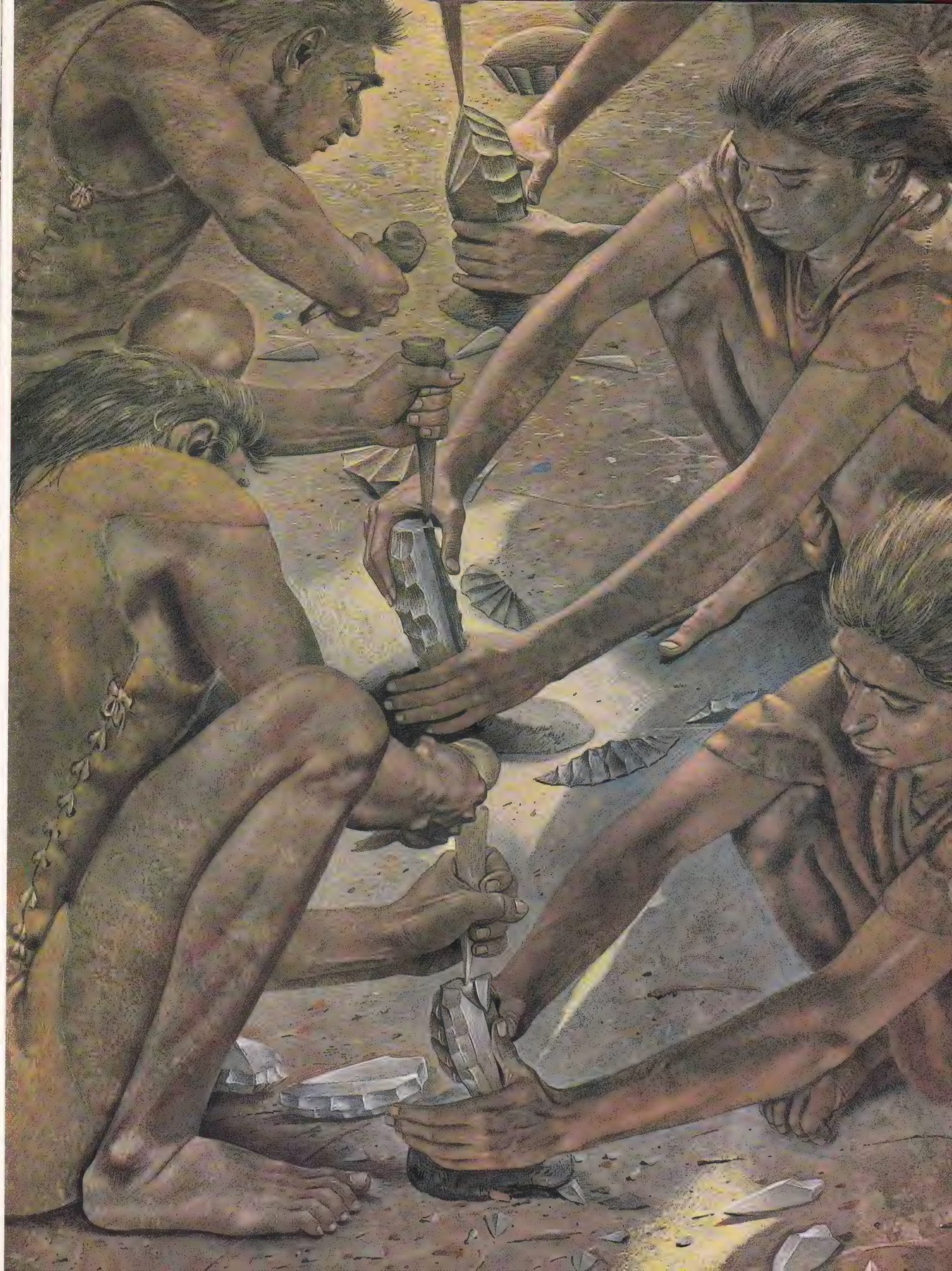


Menschentyp, der dort lebte, wird im allgemeinen zur Präsapiensgruppe gerechnet.

Wenn wir die Kante dieser Werkzeuge untersuchen, erkennen wir, daß sie mehr oder weniger durch eine entsprechende Vorbereitung der Flintknolle erreicht werden konnte. Genauso konnte man die Dreiecks- oder Eiform einer Axt, die hergestellt werden sollte, im voraus festlegen, indem man die Flintknolle zuvor bearbeitete. Wir sprechen hier von der *Herstellung präparierter Flintkerne,* die erhebliche Vorteile brachte; denn es war hier, sofern man sich mit einem „Notbehelf" zufrieden gab, kein Retuschieren nötig. Von dem vorbereiteten Kern konnte man eine Reihe identischer Abschläge erhalten. Diese Herstellungstechnik nicht retuschierter Werkzeuge wird *Levalloisien* genannt (nach Levallois-Perret in der Nähe von Paris).

Obwohl für uns vielleicht zunächst kaum wahrnehmbar, brachte doch die Kombination, um nicht zu sagen die Überlagerung des Levalloisien mit einer präzisen Retuschiertechnik beträchtliche Fortschritte. Das Levalloisien dauerte von der Mindel-Riß- bis zur Riß-Würm-Zwischeneiszeit, also rund 200 000 Jahre. Die Technik, die aus der Kombination der beiden Arbeitsmethoden entstand, entwickelte sich während der Riß-Würm-Zwischeneiszeit und existierte während der ganzen ersten Periode der Würm-Vereisung, also rund 70 000 Jahre lang; es war, wie wir jetzt wissen, die Blütezeit des Neandertalers.

Wenn man Abschläge von einem Steinkern gewinnen will, kann ein spitzer Stein wie ein Amboß benutzt werden. Die Abschläge, die durch eine solche Technik entstehen, sind immer grob, und die größeren Flächen fallen stark ab, was die Cortexfläche betrifft. Die Arbeit mit dem Amboß kennzeichnet den erweiterten Horizont des Clactoniens, das mehr als 300 000 Jahre überdauerte. Diese Technik wurde auch später für die Werkzeuge des Tayaciens angewandt, die jedoch viel sorgfältiger bearbeitet wurden und meistens von geringer Größe sind.



Halbwegs am Ziel

Eine wahrhafte Kultur

Mit der Entwicklung dieser „gemischten" Technik begann das mittlere Paläolithikum. Offenbar gab es keinen strengen Einschnitt zwischen den beiden ersten Phasen der Altsteinzeit. Auf Grund der vorliegenden technischen Daten ist zu vermuten, daß die Industrien des mittleren Paläolithikums die Industrien des unteren Paläolithikums fortsetzten und vermutlich kaum mehr als eine Stufe auf dem Weg zur Vollendung darstellten.

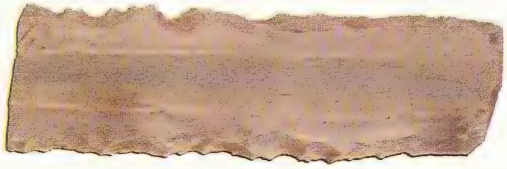
Natürlich könnten wir auch ins Detail gehen. Die zunehmende Verfeinerung der Technik ermöglichte es dem Menschen, viele Gegenstände für unterschiedliche Zwecke herzustellen. Im mittleren Paläolithikum, dessen Kultur *Moustérien* genannt wird (nach Peyzach-Le-Moustier in der Dordogne), stellte der Mensch außer Faustkeilen auch längliche Formen (Klingen und Spitzen) her, ferner asymmetrische Formen (Schaber), die an der stumpfen Kante angefaßt werden konnten, und sehr scharfe, spitze Werkzeuge (Keile, Meißel). Möglicherweise befestigte der *Neandertaler* angespitzte Abschläge an Holzschäften, indem er sie im Holz verkeilte und dann mit Erdpech oder Tannenharz festklebte oder mit Riemen aus Pflanzenfasern befestigte. Auf diese Weise entstanden Speere und Äxte, die dem Neandertaler die Jagd erleichterten.

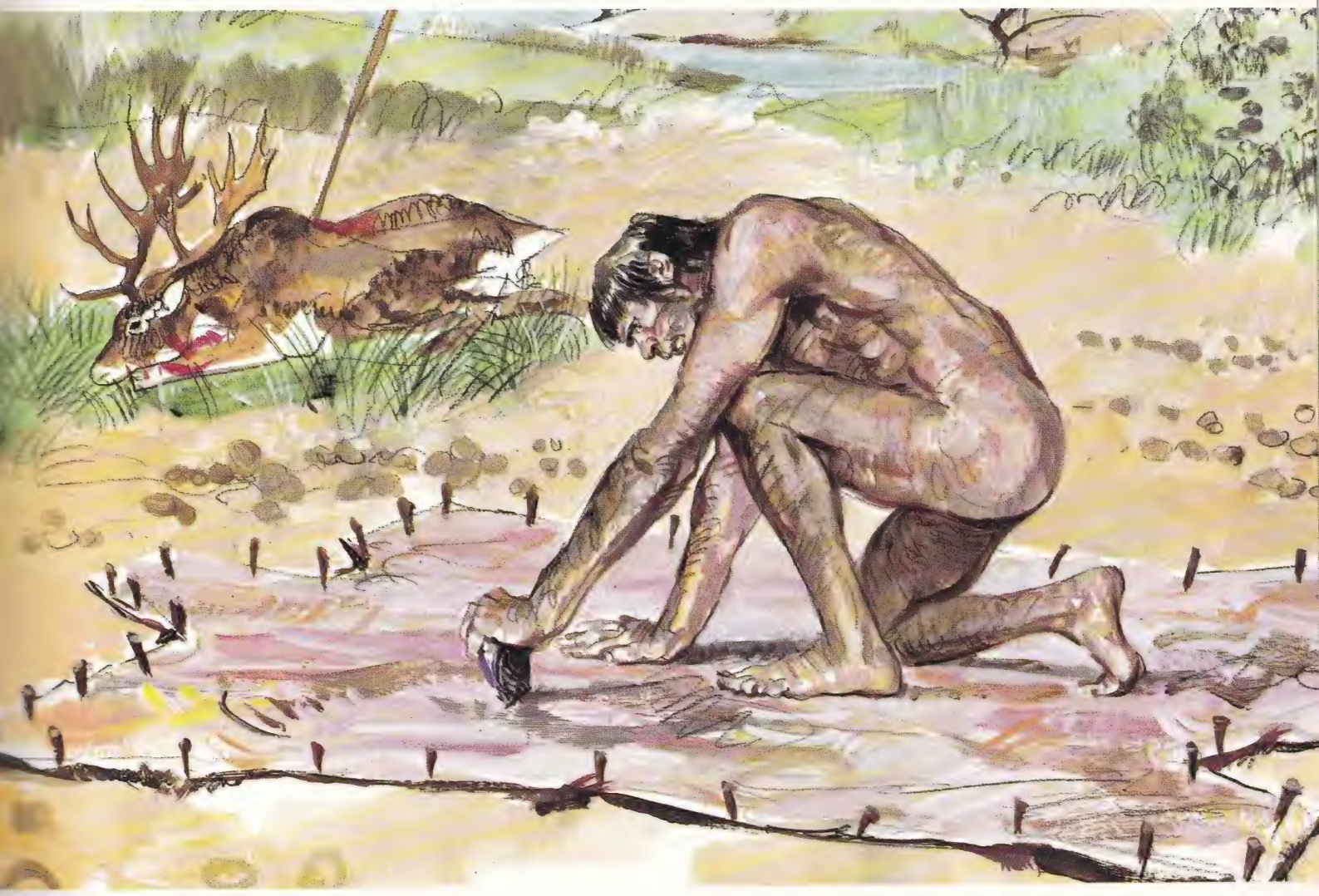
Wir wissen vom Neandertaler, daß er nicht nur kleine Tiere, sondern vor allem die großen Hirscharten, Wisente und Mammute jagte. Die erlegten Tiere wurden mit Hilfe der Klingen enthäutet; danach wurden die Felle mit Schabern von Fett und Fleischresten gesäubert. Aus den getrockneten Fellen stellten die Neandertaler Kleidungsstücke her, indem sie zunächst Löcher in den Fellrand bohrten oder stanzten und danach schmale Streifen aus getrockneter Tierhaut oder Pflanzenfasern durch die Löcher fädelten, um so die Fellteile miteinander zu verbinden.

Der Hauptunterschied zwischen den Stufen des unteren Paläolithikums und dem Moustérien liegt jedoch darin, daß wir zum ersten Mal alle unterschiedlichen Elemente rekonstruieren können, die eine Kultur ausmachen. Eigentlich könnten wir sagen, daß in der Geschichte der Menschheit das Moustérien die erste wahrhafte Kultur war.

Zwischen der Mindel-Riß- und der Riß-Würm-Zwischeneiszeit verbreitete sich eine Arbeitsmethode, bei der die Abschläge von einem zuvor behauenen (präparierten) Feuersteinkern gemacht wurden. Die verschiedenen Phasen dieser Methoden kann man aus den in den Levalloisienschichten erhaltenen Fragmenten rekonstruieren. Manche Forscher schließen die Möglichkeit nicht aus, daß solche Werkzeuge in Teamarbeit von mehreren Männern hergestellt wurden.

Bei dem Schaber (links unten) sind die Hauptmerkmale des „Retuschierens" erkennbar. Entlang der oberen Schneidkante ist der Einschnitt tiefer; die untere Kante ist gezähnt retuschiert. Rechts sind drei Faustkeile des Moustériens in Originalgröße abgebildet.



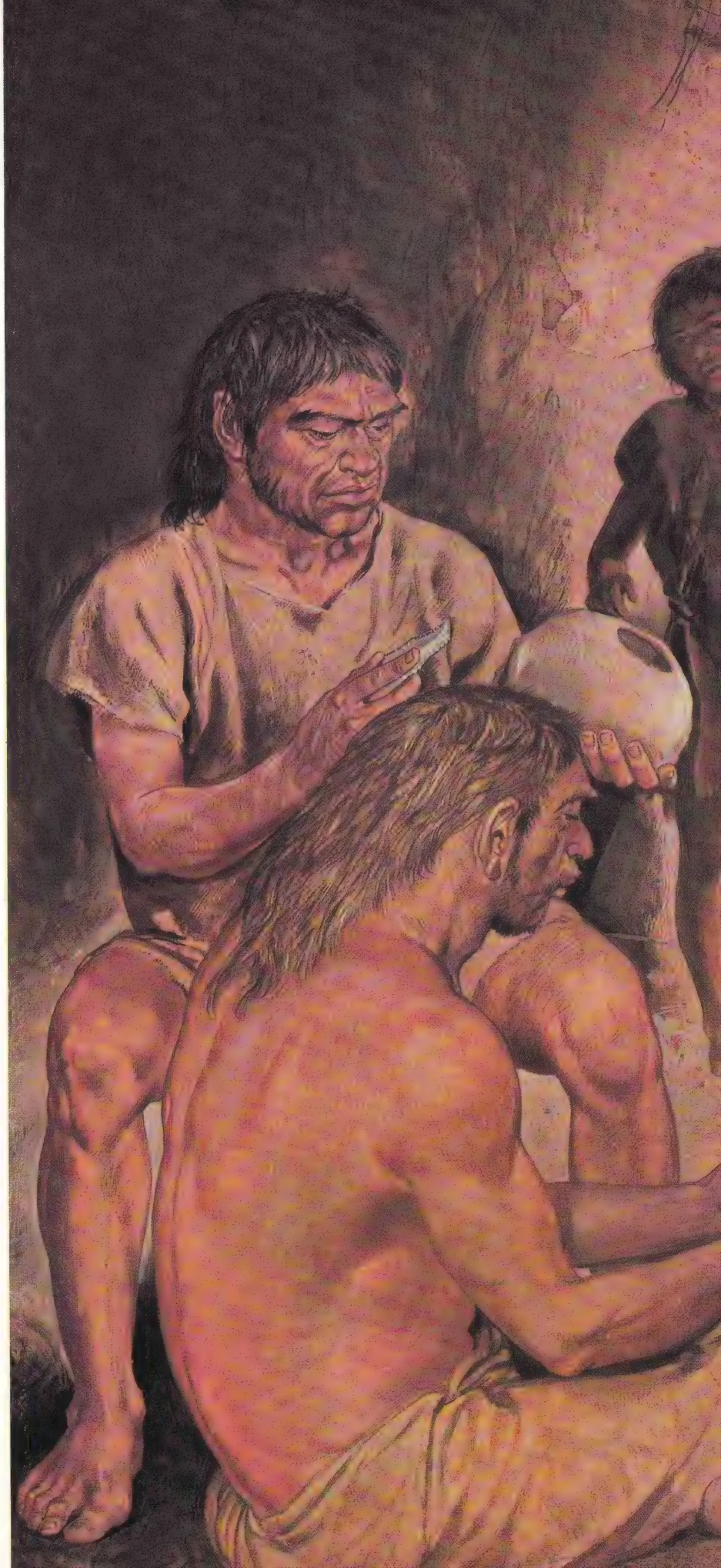


Der Mensch beobachtet die Natur

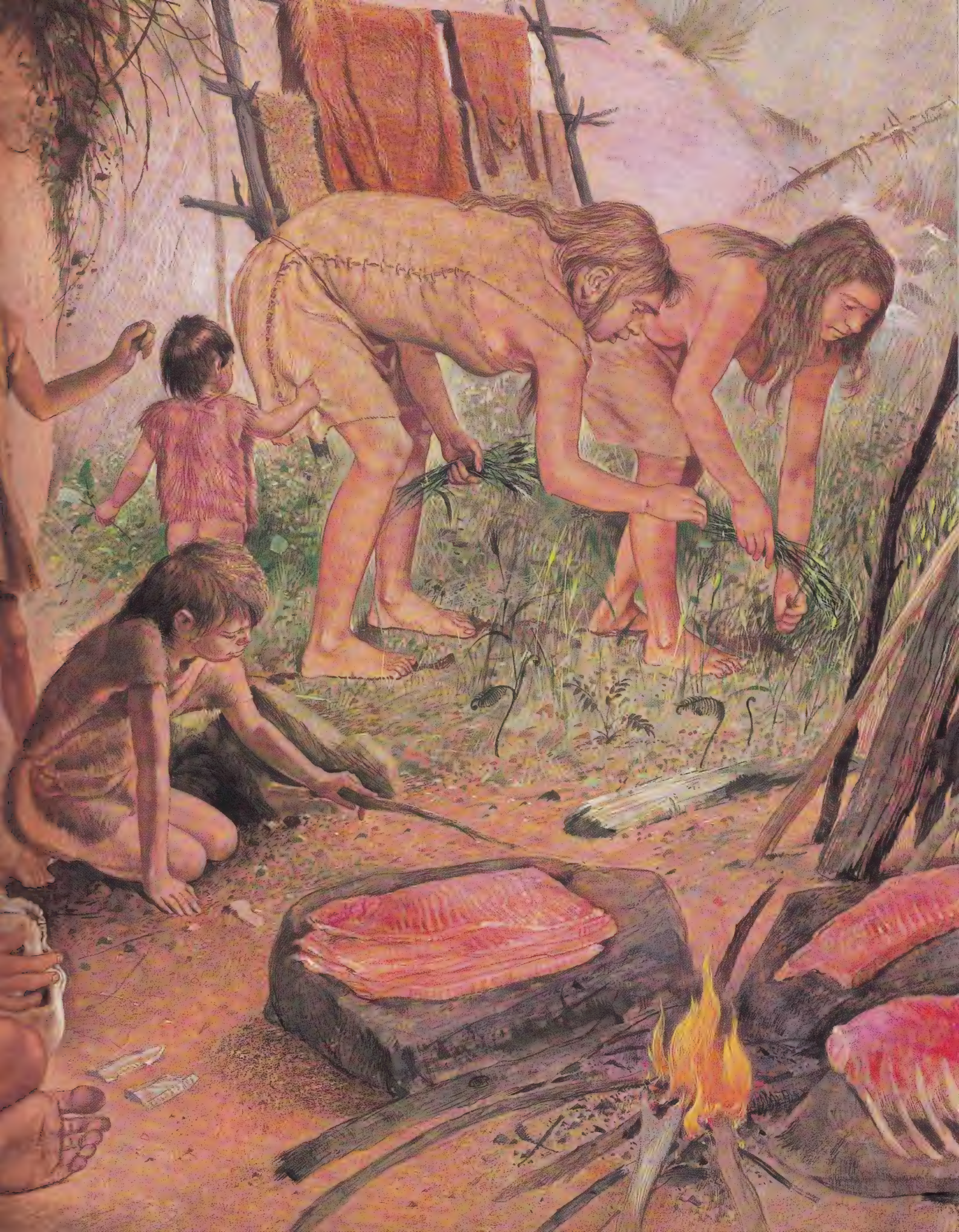
Wir haben auch eine ziemlich genaue Vorstellung vom Körperbau des Neandertalers, und, was noch viel wichtiger ist, wir sind auf Grund zahlreicher Funde heute in der Lage, die Denkprozesse des Neandertalers, besonders was das abstrakte Denken betrifft, nachzuvollziehen. Dies bedeutet nun nicht, daß wir uns vorwiegend für die „Phantasie" des Neandertalers interessierten. Aber die Entwicklung des abstrakten Denkens deutet doch auf eine zunehmend aufmerksamere Beobachtung der Natur hin.

Schon in seinem Bestreben nach Symmetrie und in der „gefälligen" Bearbeitung der Faustkeile bemerkten wir, daß der Mensch ein Gefühl für Form entwickelt hatte. Er wußte nicht nur, daß er seine Hände gebrauchen konnte, um bestimmte Gebärden zu machen oder bestimmte Arbeiten zu verrichten, sondern er wußte auch, wie er selbst aussah. Ihm war die ausgewogene Symmetrie seines eigenen Körpers bereits recht vertraut, und er hatte ein solches Ebenmaß auch an anderen Tierarten beobachtet. Er übertrug nun diese „Erkenntnisse" auf die Gegenstände, die er herstellte. Der Neandertaler hatte also gleichsam gelernt, an sich selbst Maß zu nehmen, so daß er seinen Körper mit

Oben: Der Schaber wurde dazu benutzt, Fleisch- und Fettreste von Tierhäuten zu entfernen, damit diese besser austrocknen konnten.



Die Entdeckung von offensichtlich „bearbeiteten" (abgefeilten) Zähnen und anderen Knochen beweist, daß es während der Würm-Eiszeit einen Totenkult gab. Die Knochen wurden nach der ersten Phase der Bestattung, bei der der Leichnam von seinen vergänglichen Teilen befreit werden sollte, für ihre endgültige Ruhestätte hergerichtet.



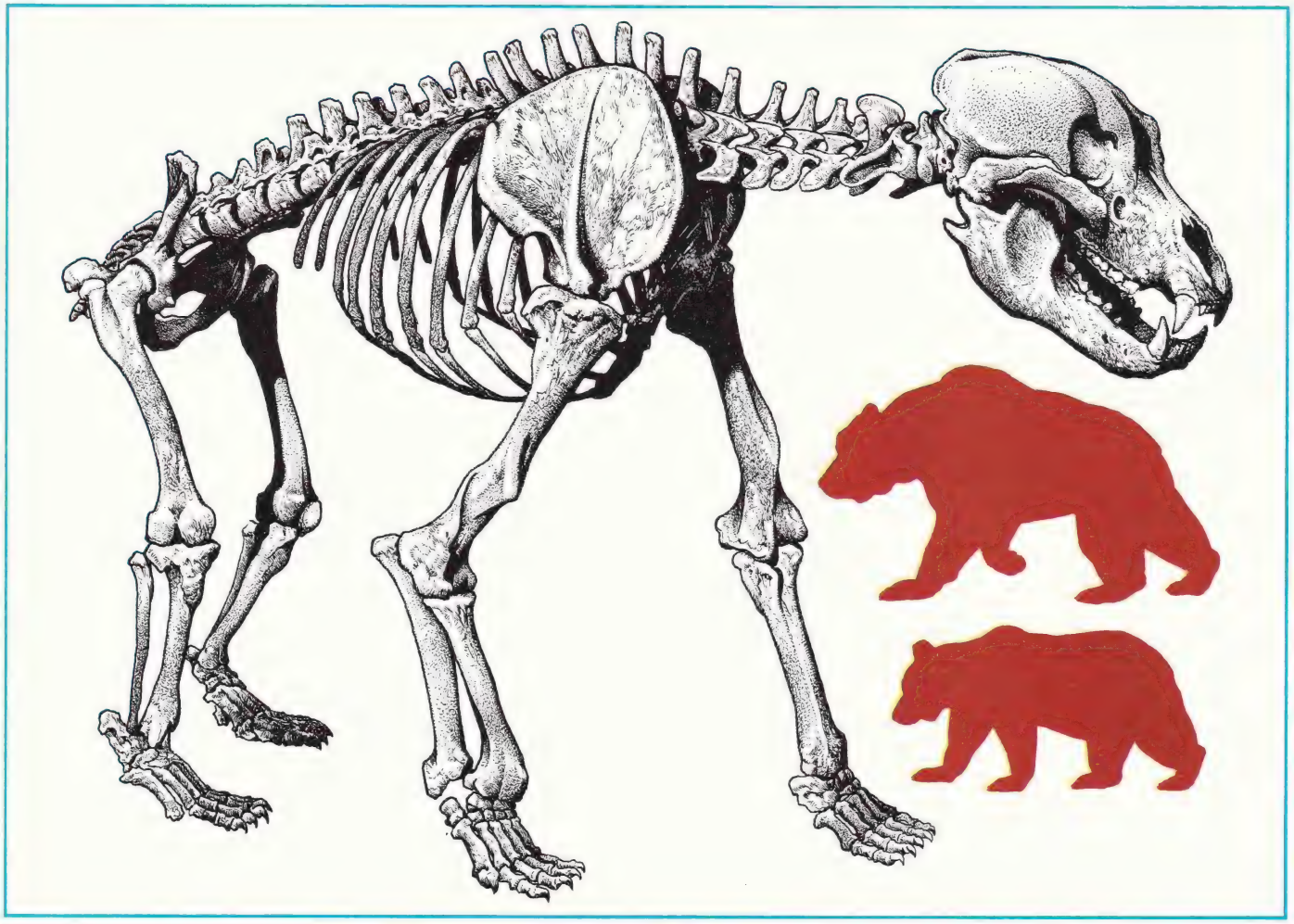
Rechte Seite: Der Neandertaler ging bei der Jagd auf Beutetiere sehr geschickt vor. Gewöhnlich arbeitete ein Team von Jägern zusammen, um die Tiere aufzuscheuchen. Dann wurden die Tiere in eine Schlucht oder in eine vorbereitete Fallgrube getrieben, wo andere Mitglieder der Jagdgruppe die wehrlosen Tiere mit primitiven Waffen abschlachteten.

„selbstgefertigten" Kleidungsstücken bedecken konnte, die mehr oder weniger seiner Körperform angepaßt waren.

Während des Moustériens begann der Mensch, seine Umwelt mit wachsendem Interesse zu beobachten. Damals wußte er schon seit einiger Zeit, daß er seinen Speisezettel mit Obst und Wurzelarten bereichern konnte, so daß er einige der typischen Gewohnheiten der robusten Dart-Hominiden schon wieder aufgenommen hatte. Jetzt aber erregten auch Pflanzen seine Aufmerksamkeit. Er probierte die Samen einiger Pflanzen, die mehrere Zentimeter über den Boden emporwuchsen; vielleicht erkannte er dabei, daß die Samen sehr nahrhaft waren. Das ganze Pflanzenreich faszinierte ihn. Er fühlte, daß das Pflanzenreich noch viele Geheimnisse barg. Er fragte sich z. B., woher die Pflanzen kämen, und entdeckte, daß sie aus der Erde sprossen.

Ein Gefühl der Angst mag den Menschen von damals angesichts solch geheimnisvoller natürlicher Vorgänge beschlichen haben, und er wird versucht haben, das Geheimnis des Todes, der ihn ja ganz persönlich betraf, durch die Verbindung des Todes mit dem Sprießen der Pflanzen zu bannen: Er entschloß sich, seine Toten in die Erde zu legen, damit sie wieder lebendig werden könnten wie die Pflanzen, die aus den auf die Erde gefallenen Samen wieder zum Leben erwachten.

Unten: Bärenskelett aus einer Höhle. Der damalige Bär war viel größer und schwerer als der heutige Bär (unten als Silhouette abgebildet).



Der Mensch formt die Natur

Der *Totenkult,* der durch viele Grabstätten des Moustériens eindeutig nachgewiesen werden kann, kann daher als schlagender Beweis dafür gelten, daß der Neandertaler sich intensiv mit dem Pflanzenzyklus beschäftigte. Vielleicht entwickelten sich damals in diesem Zusammenhang die ersten Formen des *rituellen Opfers:* Die Pflanze stirbt, fällt in die Erde und kehrt wieder ins Leben zurück. Auf ähnliche Weise könnte ja vielleicht das rituelle Töten eines Tiers oder eines eigenen Artgenossen eine größere Menge von Beutetieren oder von zu sammelnden Früchten sichern!

Früher vermutete man, daß jeder Knochenhaufen (besonders Bärenknochen, die in Höhlen gefunden wurden) einen uralten Kult bezeuge. Man glaubte, der Mensch habe die Knochen des Bären gesammelt und verehrt, um das große Raubtier an sich zu binden und es als Beute zu sichern, oder auch, um das Tier aus seiner Höhle zu treiben, indem er „durch die Knochen" zu verstehen gab, daß er seine Macht auch über den lebenden Bären ausüben konnte.

Heute nimmt man an, daß die meisten Knochenhaufen (die nicht nur die Knochen höhlenbewohnender Tiere enthalten) einfach durch Wasser in die Höhlen hinuntergeschwemmt wurden. Der „Bärenkult" wird nicht mehr als allgemeiner Brauch des Neandertalers angesehen. Dennoch wurde das Sammeln von Knochen für rituelle Zwecke sicher vereinzelt ausgeübt. Dies bestätigte z. B. die Entdeckung vieler Bären- und Hirschknochen in einer Höhle in Regourdou in der Dordogne. Alle Knochen waren zwischen Steintafeln aufgehäuft, die etwa in Form einer Urne angeordnet worden waren.

Dasselbe gilt für den *rituellen Kannibalismus.* Heute glaubt man nicht mehr daran, daß der Kannibalismus ein allgemeiner Brauch war, sondern nur hier und da vereinzelt auftrat. Ein Arrangement, wie es in der Guattarihöhle auf dem Monte Circeo in Italien entdeckt wurde: ein Schädel, umgeben von Steinen, bestätigt ohne Zweifel, daß dies das Nachspiel eines entsprechenden Ritus war. Wie wir schon wissen, wies der Monte-Circeo-Schädel ein vergrößertes Hinterhauptsloch auf, durch welches das Gehirn entfernt worden war. Auch wurde eine weitere wesentliche „Änderung" vorgenommen, die offenbar auf ein rituelles Element hindeutet: Man hatte die Zähne des oberen Zahnbogens abgefeilt (der Unterkiefer dieses Schädels ist nicht erhalten).

Schädel aus der Guattarihöhle auf dem Monte Circeo in Italien.

Die Bedeutung dieses uralten Ritus ist unklar. Vielleicht war der Circeomann ein Feind, der erschlagen wurde, vielleicht war er auch der Häuptling einer Gruppe, deren Mitglieder ihn auf diese Weise „präpariert" hatten. Auf jeden Fall wollten offenbar seine Artgenossen sein Gehirn besitzen, um sich seine Charaktereigenschaften (etwa Mut, Führungsqualitäten) „einzuverleiben". Vielleicht feilte man die Zähne ab, damit der Tote, sollte er „zurückkehren", keinen Schaden anrichten konnte. Würde er z. B. essen können, dann hätte die Möglichkeit bestanden, daß er die Lebenden ihrer nicht allzu üppigen Nahrungsvorräte beraubte.

Eine Erkenntnis ist jedenfalls von all diesen rituellen Bräuchen ablesbar: Nachdem der Mensch die Natur sorgfältig beobachtet hatte, entschloß er sich, sie zu beeinflussen. Er beobachtete die Mechanismen, die in der komplexen Maschinerie der Ökosphäre seit Jahrmillionen am Werke waren, und er ging, nachdem er erahnt hatte, wie sie funktionierten, nun daran, sein Wissen für seine eigenen Zwecke zu verwerten.

Bestärkt durch die Beobachtung der Gesetzmäßigkeiten im Leben der Pflanzen, entschloß sich jetzt der Mensch, den Tod nicht mehr als

Erst während des mittleren Paläolithikums wurde sich der Mensch bewußt, daß er die Natur auf irgendeine Weise beeinflussen konnte. Wie der Mensch heute diese Möglichkeit zu „nutzen" versteht, sieht man am Beispiel dieses Flusses in Italien: Die künstlich erzeugte Erosion der Ufergestade bedroht jetzt die Ernte.

endgültigen Schlußstrich anzuerkennen. Die Toten konnten wieder auferstehen. Er selbst würde sie wieder ins Leben zurückrufen, vielleicht in dieser Welt, vielleicht in einer anderen. Die Furcht, daß die Toten ins wirkliche Leben zurückkehren könnten, erzeugt fast gleichzeitig den Glauben an eine Wiedergeburt „irgendwo anders".

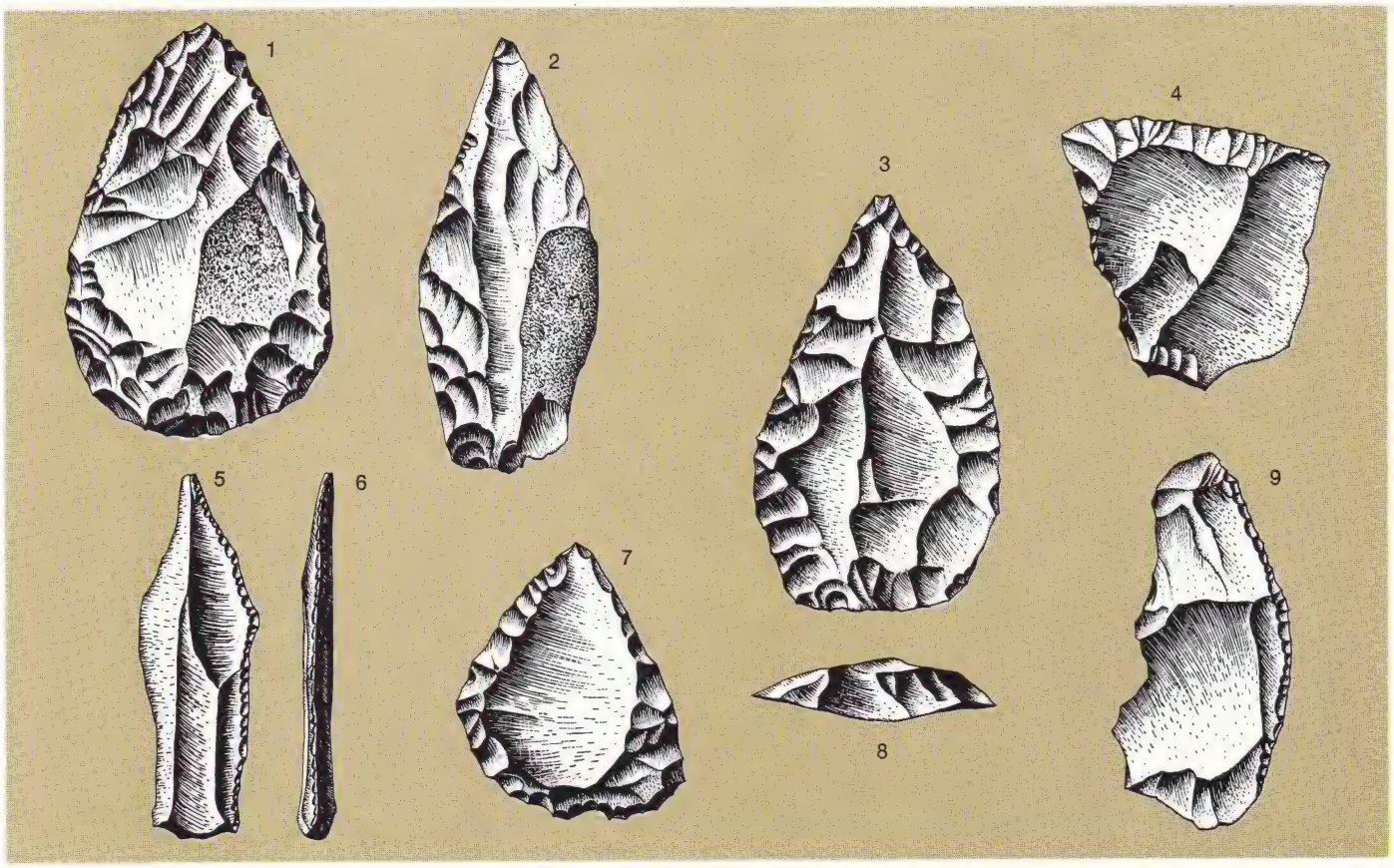
Daher ist der Totenkult eigentlich ein Gewaltakt gegen die Natur. Zunächst ist er von großer Bedeutung, weil er beweist, daß der Mensch die Zyklen im Pflanzenleben begriffen hatte (dies war der erste Schritt zur „Erfindung" des Ackerbaus, der die neolithische Revolution einleiten sollte). Außerdem wird dadurch klar, daß der Mensch damals bereits ein Zwiegespräch mit der Natur begonnen hatte. Er fing an, sich mit seiner Umwelt auseinanderzusetzen.

Auf irgendeine Weise bringt jede „neue" Art die Umwelt ein wenig aus der Balance. Das ökologische Gleichgewicht pendelt sich im allgemeinen erst nach einer Reihe ökologischer Wechselwirkungen wieder ein. Beim Menschen jedoch verläuft dieser Prozeß anders. Er weiß, wieviel er erreichen kann, auf welche Weise er gegen seine Umwelt wirken kann. Also entscheidet er im Grunde, daß es ein wirkliches Gleichgewicht niemals geben wird, da er immer versuchen wird, seinem eigenen Vorteil den Vorrang zu geben. So schiebt er die Suche nach einem stabilen Zustand immer wieder hinaus. Letztlich strebt der Mensch immer nur danach, seine Umwelt zu beherrschen, ihre Gesetze zu ändern und durch neue zu ersetzen.

Viele Aspekte

Durch das ganze mittlere Paläolithikum, durch das ganze Moustérien hindurch blieb das Verhalten des Menschen seiner Umwelt gegenüber gleich. Deshalb war diese Periode auch ziemlich homogen. Von einem technischen Standpunkt aus gesehen, können wir eine Anzahl von Lösungen (manchmal aus dem gleichen Zeitraum stammend) für diejenigen Probleme erkennen, auf die der Mensch bei der Bearbeitung von Werkzeugen stieß. Es handelt sich dabei jedoch lediglich um unterschiedliche Aspekte ein und derselben Sache, vergleichbar den verschiedenen Oberflächen eines Kristalls.

An der Kultur des Moustériens können wir die häufig widersprüchlichen Phasen einer fortlaufenden technischen Entwicklung erkennen. Das Bedürfnis der Träger dieser Kultur, etwas „Schönes" herzustellen,



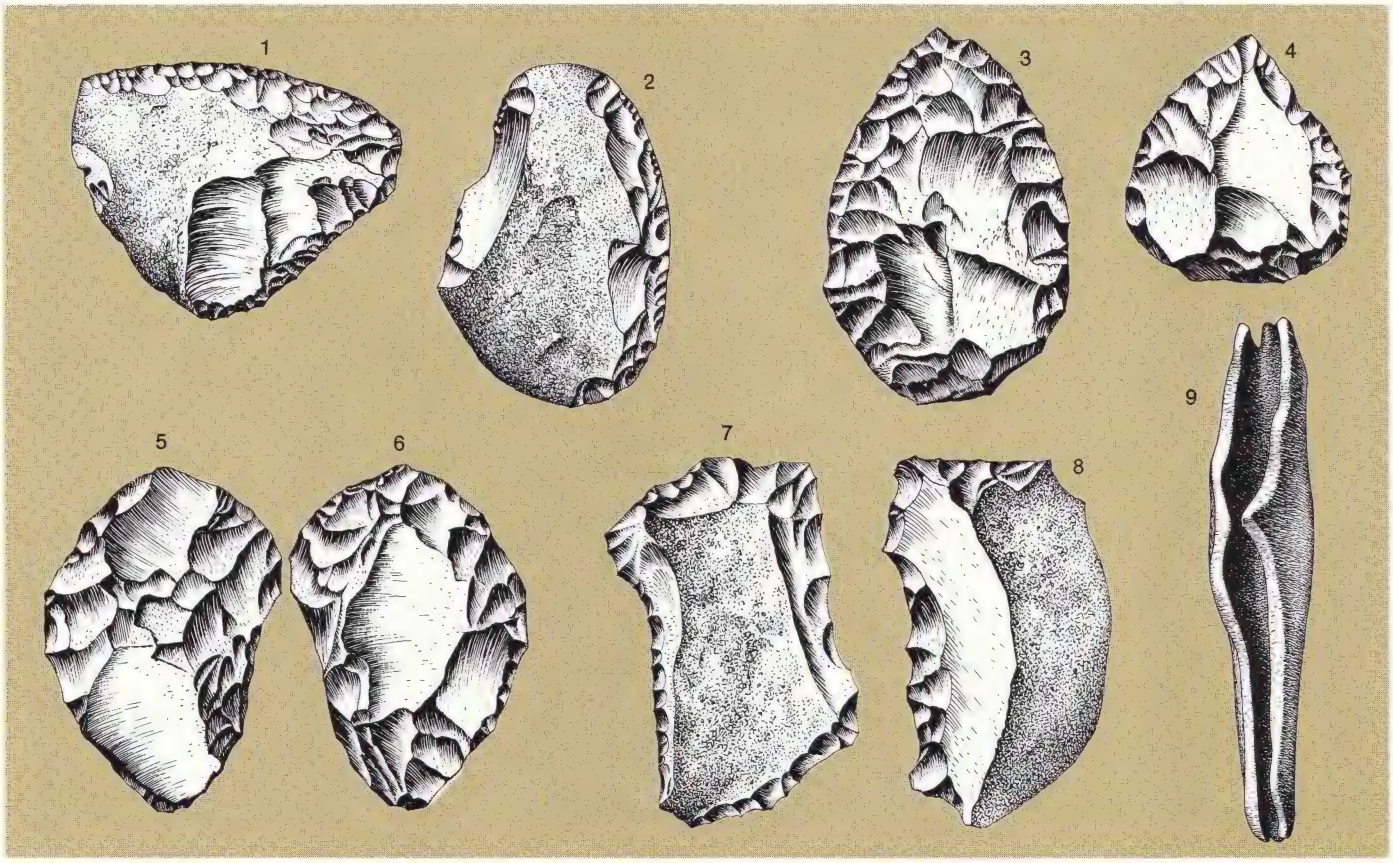
Aus Schichten des Moustériens (Acheuléentradition): 1 Faustkeil; 2, 3 (8) und 7 Spitzen; 4 Schaber; 5, 6 Messer (von zwei Seiten gesehen); 9 Bogenschaber.

bedeutet einen weiteren bemerkenswerten Fortschritt auf dem Weg zum abstrakten Denken. Eine solche Feststellung ist weder unsinnig noch wertlos. Um zu verstehen, was hier mit dem Wort „schön" gemeint ist, müssen wir uns auf Winckelmann beziehen. „Schön" ist das gewisse Etwas, das man an einem Gegenstand nicht auf Grund von Überlegungen, die der reinen Nützlichkeit dienen, erklären kann. Wir sprachen bereits von der Symmetrie. Jetzt können wir uns auf eine Anzahl von Verfeinerungstechniken beziehen, die auf Formen zutreffen, welche schon vorher als abstrakte Idealvorstellungen vorhanden gewesen zu sein scheinen. Von den unterschiedlichen Zwecken her, für die man die Gegenstände zu verwenden beabsichtigte, sind die Formen, die hergestellt wurden, sicher nicht alle begründbar. Diese wurden offenbar vielmehr geschaffen, um ein abstraktes Ideal, jenseits des tatsächlichen praktischen Nutzens des Gegenstands, zu verwirklichen.

Die Bifazialindustrie des Moustériens, in der fortwährend, trotz Anwendung einer uralten Technik, neue Formen entwickelt wurden, ist uns ziemlich gut bekannt. Gewöhnlich wird diese Technik als „Moustérien mit Acheuléentradition" bezeichnet. Tatsächlich sind die Schaber und kleinen Faustkeile in einer Weise retuschiert (nachgebessert), die an den typischen Stil des unteren Paläolithikums erinnert. Es scheint fast so, als ob es dem Menschen widerstrebte, die bewährte Technik aufzugeben, während er andererseits neue Formen ausprobierte.

Die typische Moustérienindustrie stellte viele Spitzen sowie eine Reihe von flachen Schabern her. Bei der dabei angewandten Technik

Aus Schichten des Moustériens: a) La Quina (1, 2, 5, 6): 1 Querschaber; 2 Bogenschaber; 5, 6 doppelseitiger Schaber (von zwei Seiten gesehen). – b) Gezähnt (3, 4, 7, 8): 3, 4 Spitzen; 7 zweischneidiger Schaber; 8 Schaber. – c) Alpin: 9 Schnalle aus Knochen.



Der Neandertaler achtete die Toten sehr. Das läßt sich z. B. an diesem Begräbnisplatz aus dem unteren Moustérien in Combe-Grenal in der Dordogne ablesen.

handelte es sich um die weitverbreitete „Technik des vorbereiteten Kerns". In dem französischem Ort La Quina im Departement Charente wurde eine Moustérienschicht mit vielen vollkommen symmetrischen Doppelspitzen und einer Anzahl von Schabern entdeckt, die an beiden Seiten retuschiert worden waren. Wir kennen ferner Moustérienwerkzeuge mit gezähnten oder gekerbten Schneidkanten, die durch unregelmäßige Abschläge erzielt wurden.

Am Ende dieser langen Periode wurde *Ocker,* besonders roter Ocker, beim Ausgestalten von Totenbetten und Gräbern benutzt. Mit dieser farbigen Lehmsubstanz verbanden sich eindeutig rituelle Zwecke. An mehreren Orten fand man kleine Lehmkugeln, die Fragmente von Flint, Säugetierzähnen und Knochensplittern enthielten. Sie waren anscheinend auf irgendwelche „Zielscheiben" geschleudert worden. Bei *La Ferrassie* in Südfrankreich wurde eine Art Neandertaler-„Familiengrab" entdeckt. Über manchen Gräbern waren Erdhügel aufgeschüttet; eines, das tiefer ausgehoben war, war von einer großen Steinplatte bedeckt. Auch in Regourdou fand man das Skelett eines Neandertalers unter einer einfach bearbeiteten Steinplatte.

Fossilien oder Mineralfragmente, die überhaupt nicht zu ihrer Umgebung passen und aus einem anderen Zeitalter stammen, werden oft in Schichten des späten Moustériens gefunden. Offenbar hatte der Mensch, der in seinem Eifer, mehr über seine Umwelt zu erfahren, immer

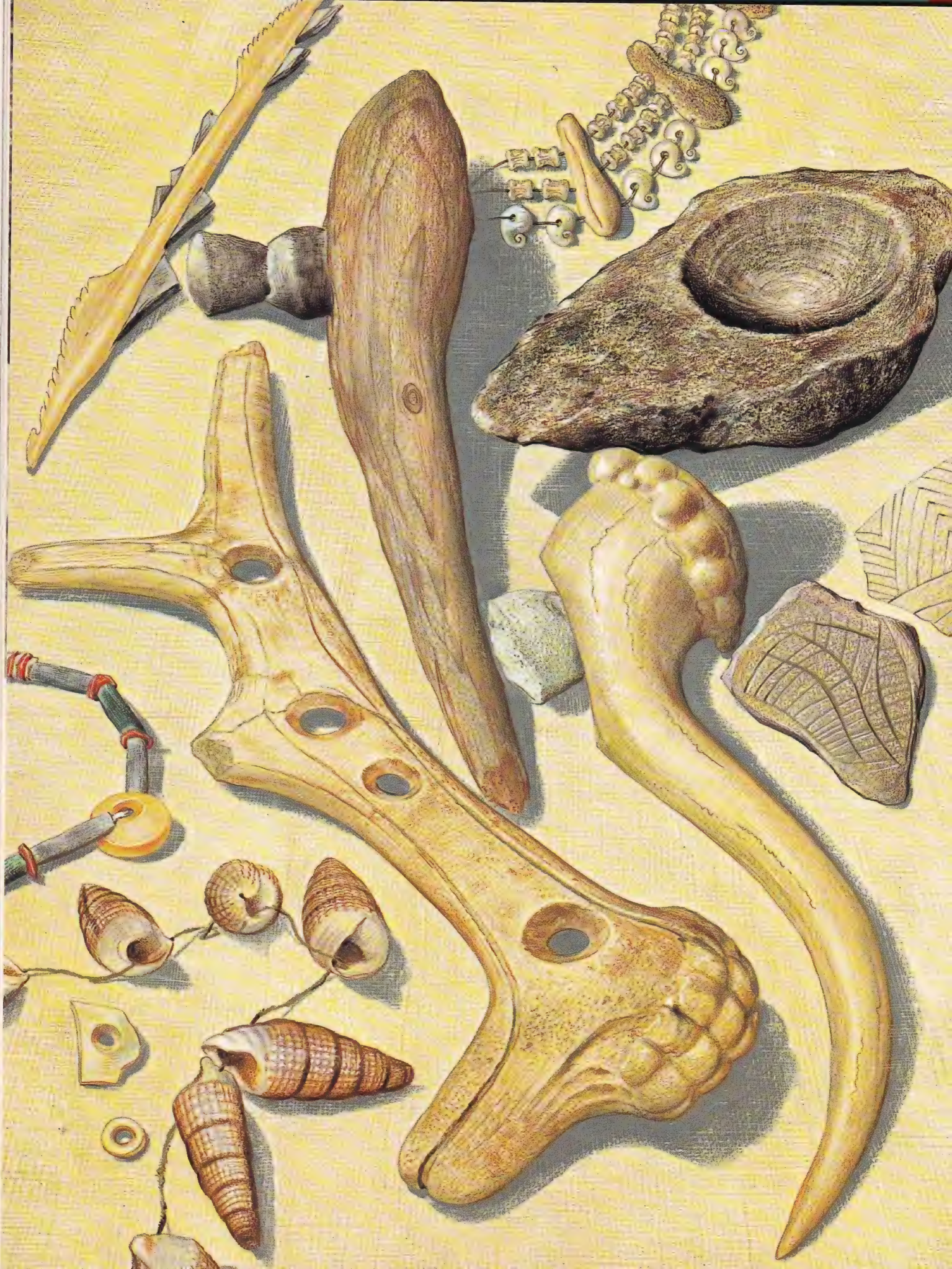
In Afrika hinterließ das mittlere Paläolithikum umfangreiche Spuren. Auf dieser Karte sind die Hauptorte eingetragen, nach denen vorgeschichtliche Kulturen benannt wurden. Die westliche Mitte Afrikas war schon einige hunderttausend Jahre früher von Hominiden besiedelt (Olduwaikultur).

von neuen Dingen fasziniert wurde, diese Gegenstände gesammelt, vielleicht als Zier- und Schmuckstücke.

In außereuropäischen Ländern scheint das Bild vom mittleren Paläolithikum einheitlicher zu sein, schon allein deshalb, weil es dort weniger Funde gibt. In Afrika (besonders im mittelöstlichen Teil des Kontinents) scheinen die *Sangoankultur* und das *Capsien* länger als andere Kulturen bestanden zu haben. In der Sangoankultur wurden Werkzeuge mit Hilfe der Levalloistechnik hergestellt; es gab aber auch einfache Bifaziale. Gegenstände aus dem Capsien weisen viele Zeichen einer Retusche auf. Auch ist hier eine große Anzahl unbearbeiteter Kieselsteine zum Vorschein gekommen, die lange Zeit auf hohe Temperaturen erhitzt worden waren; wahrscheinlich dienten sie als primitive „Wärmflaschen" gegen die strenge Nachtkälte.

In Nordafrika überwog in Berggegenden die Kultur des *Atériens* (Sahara und Maghreb), in der eine Vielfalt von Werkzeugen hergestellt wurde. Im Süden scheint die *Fauresmithkultur* vorherrschend gewesen zu sein, in der die Levallois-Moustérien-Technik angewandt wurde.

In Asien waren die *Ngandongkultur* (die mit dem Ngandongmenschen zusammenhing), in Sibirien die *Angarakultur* verbreitet, wenn sich auch letztere nicht vor dem oberen Paläolithikum festigte. In Japan war die sog. *Nyukultur* die erste paläolithische Industrie von Bedeutung.



Das obere Paläolithikum

Neue Materialien und neue Werkzeugmacher

Das „goldene Zeitalter" des Neandertalers schloß mit dem Ende des Moustériens ab, etwa zur Zeit der mittleren Würm-Vereisung. Allmählich verschwand dieser entfernte Vorfahr von uns vom Schauplatz, obwohl er in manchen Orten (z. B. am Berg Karmel in Nordisrael) erst viel später völlig verdrängt wurde und sich vielleicht sogar mit der neuen Gruppe, Homo sapiens fossilis *(Cromagnonmensch),* vermischte. Der Einfluß der Moustérientradition blieb jedoch noch lange erhalten. Fast könnte man annehmen, daß diese Kultur von einer Menschengruppe auf die andere „überliefert" wurde. Tatsächlich war die *Cromagnonkultur* eine Weiterentwicklung des späten Moustériens, auch wenn man bei den wenigen Fossilienresten des noch älteren Präsapiens keine Anzeichen für einen Vorgänger dieser Technik aufgespürt hat.

So scheint diese Kultur also nicht nur an eine einzige ethnische Gruppe gebunden gewesen zu sein. Möglicherweise gab es Verbindungen zwischen den Neandertalern und den Vertretern des Cromagnontypus. Solche Verbindungen würden durch die offenbaren Zwischenglieder, die zu einem späteren Zeitpunkt in Palästina erschienen, bestätigt werden. Aus heutiger Sicht ist es höchst unwahrscheinlich, daß ein solches Aufgehen einer Kultur in einer anderen, entweder durch gewaltsame Überlagerung von höherentwickelten oder durch Übernahme von weniger entwickelten Gruppen her, stattgefunden hat.

In der zweiten Hälfte der Würm-Vereisung stellte der Mensch Werkzeuge her, die einige vollkommen neue Eigenschaften aufwiesen: Jetzt wurden statt Feuerstein Knochen, Horn, Muscheln und manchmal Quarz verwendet, und es entwickelte sich eine neue Technik, mit der man Abschläge von einem Steinkern gewann, die gleich als lange, scharfe Klingen absprangen.

Darüber hinaus versuchte der Mensch vom Beginn des oberen Paläolithikums an, angespannt durch seine intensiven Naturbeobachtungen, seine Umwelt in Bildern darzustellen. Also brachte die neue Periode nicht nur neue Arbeitsmaterialien, sondern auch die Entwicklung neuer Fertigkeiten und Ziele. Dies alles war das Werk des Cromagnonmenschen.

Im oberen Paläolithikum und im Mesolithikum benutzte der Mensch eine große Vielfalt von Materialien, mit denen er ornamentale Gegenstände sowie Waffen und Werkzeuge aller Art herstellte. Abgebildet sind: eine Knochenharpune, in deren Schaft kleine Feuersteine (Mikrolithen) gesteckt wurden; Halsketten aus durchbohrten Muscheln und den Rückenwirbeln kleiner Säugetiere; Steinäxte aus Horn und Knochen; kleine, gravierte Fragmente von Straußeneiern; ein sog. „Kommandostab" aus Horn; eine löffelförmige Steinlaterne, der wahrscheinlich Tierfett als Brennstoff diente.

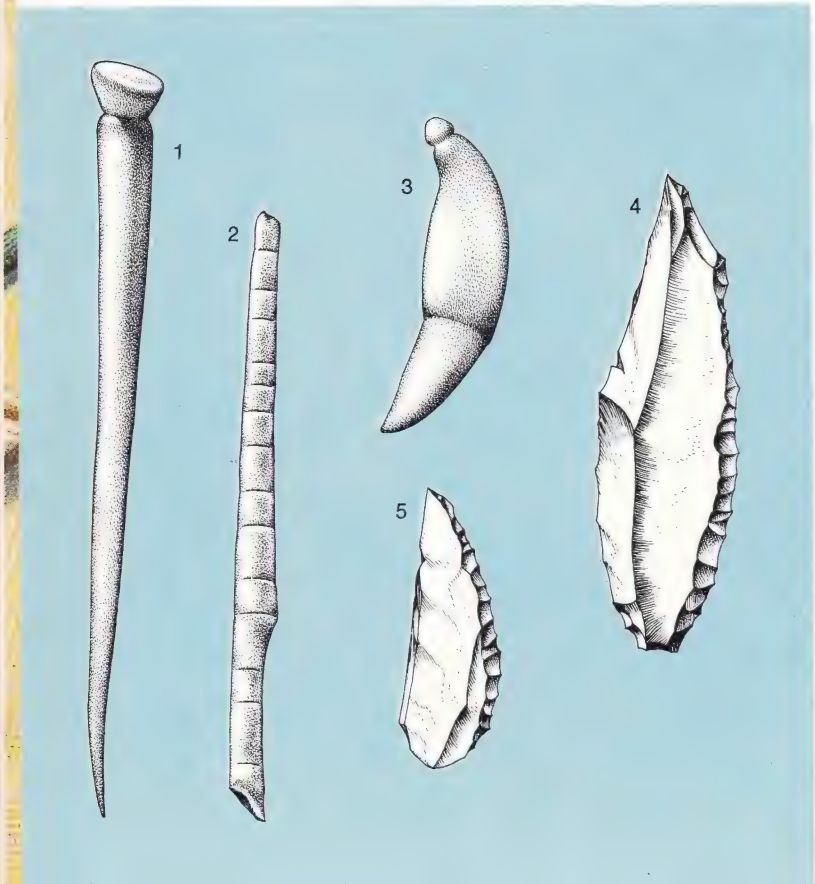
Werkzeuge und Schmuck

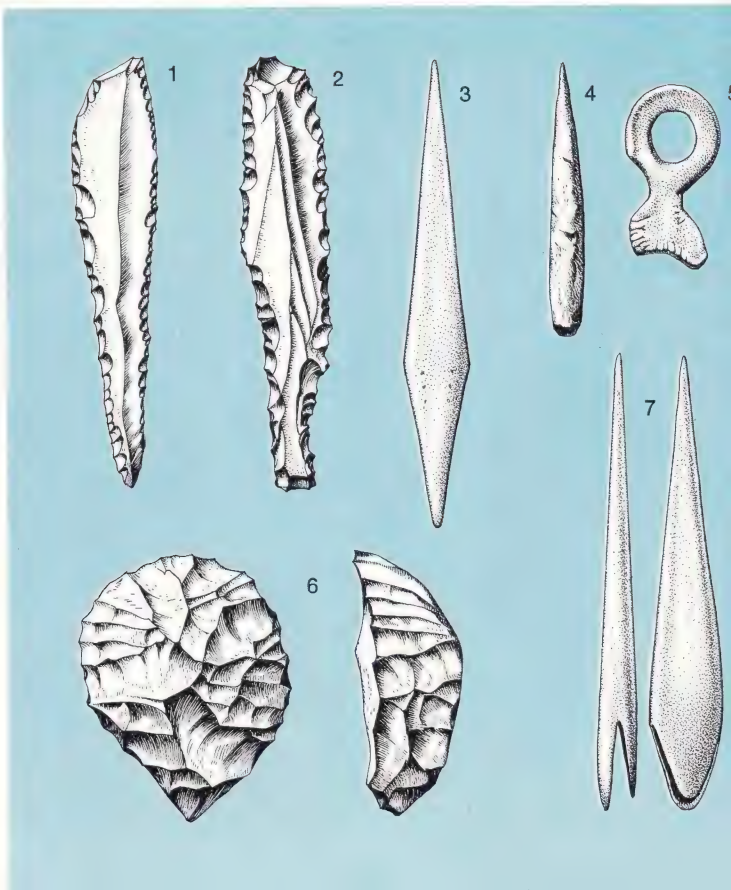
Natürlich dauerte es nicht lange, bis solche Entwicklungen den Lebensstil dieser unserer Vorfahren zu verändern begannen. Der Mensch ernährte sich immer noch, indem er jagte und eßbare Pflanzen sammelte. Allerdings erweiterte der Jäger jetzt seinen Horizont durch den Fischfang. Als die Zahl der Tierarten zunahm, gab es auch für den Jäger entsprechend mehr Beutetiere. Natürlich wurden eine solche Entwicklung und die zahlenmäßige Zunahme der Jagdbeute während des fast 30 000 Jahre dauernden oberen Paläolithikums durch die mannigfachen Temperaturschwankungen begünstigt, die das mildere Klima, das in der späten Würm-Vereisung herrschte, einleiteten.

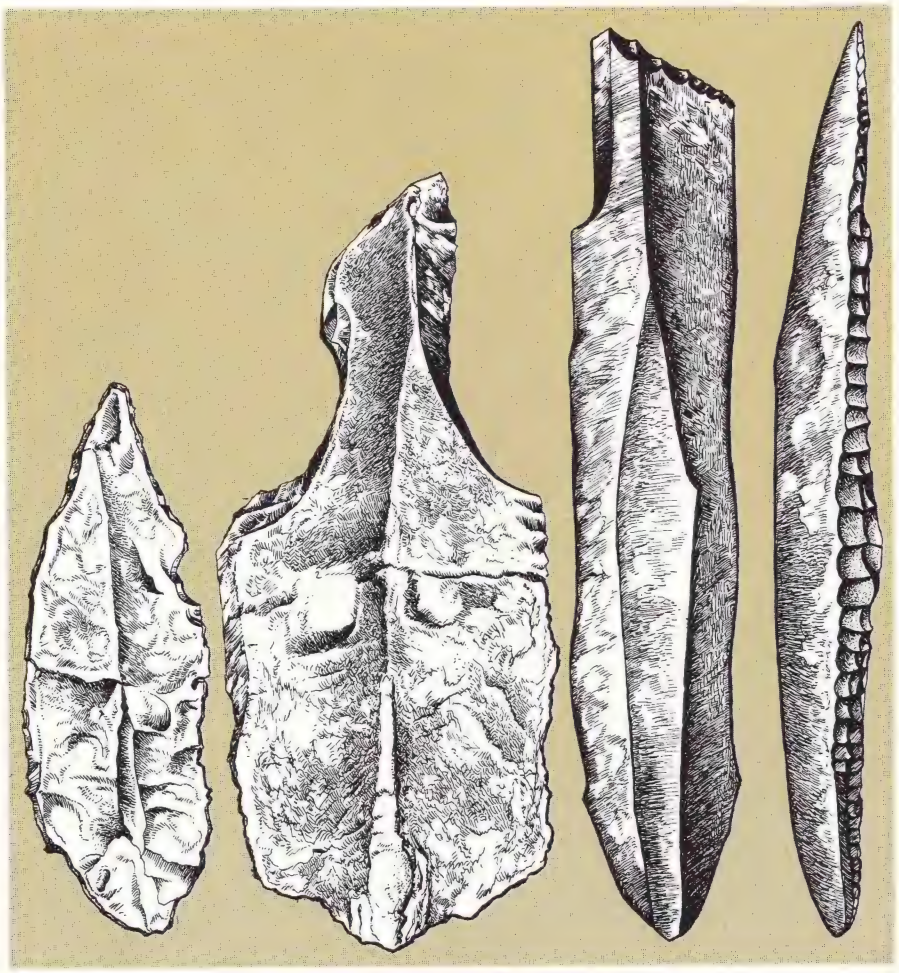
Die Verarbeitung von Knochen, Elfenbein und Horn, die als *osteodontokeratische Kultur (Osteodontokeratikkultur, Knochen-Zahn-Horn-Kultur)* bezeichnet wird, ermöglichte die Herstellung von Harpunen und Speeren aus kräftigerem Material. Bis dahin wurden solche Waffen aus Holz gefertigt.

Die erste Kultur des oberen Paläolithikums war das *Aurignacien,* benannt nach der Höhle von Aurignac in den Pyrenäen. Diese Kultur scheint sich fast von Anfang an in mehrere unterschiedliche Richtungen entwickelt zu haben. Die wichtigste unter ihnen war das *Châtelperronien* (nach dem französischen Ort Châtelperron im Departement Allier). Hier grub man 1867 die „Höhle der Feen" aus, in der man verschiedene wertvolle Gegenstände fand. Typische Werkzeuge des Châtelperroniens, das eng mit dem Moustérien verwandt war, waren lange Klingen aus sehr dünnen Flintabschlägen. Um die Rohklinge vom Kernstück abzuspalten, benutzte der Steinschläger wahrscheinlich ein langes Holzgerät, mit dem er einen starken Druck auf den Steinkern ausüben konnte. Das „Châtelperronmesser" ist immer leicht geschwungen, seine scharfen Klingenränder sind sorgfältig ausgearbeitet. Viele der ausgegrabenen Klingen waren sogar künstlich abgestumpft worden, wohl damit man sie überhaupt anfassen konnte. Manche Klingen waren zu

Links einige Artefakten aus Châtelperron: 1 Knochenbohrer; 2 Fragment eines Vogelknochens, der in regelmäßigen Abständen eingekerbt ist (einer der ältesten bekannten Kunstgegenstände); 3 Anhänger aus dem Eckzahn eines Bären; 4, 5 typische Klingen dieser Kultur. – Rechts Artefakten aus dem Aurignacien: 1 Schaber; 2 Klinge; 3 rautenförmiger Knochenbohrer; 4 Bohrer; 5 geschnitzter Knochenanhänger; 6 Schaber; 7 Bohrer aus Knochen mit geschnitztem Unterteil.







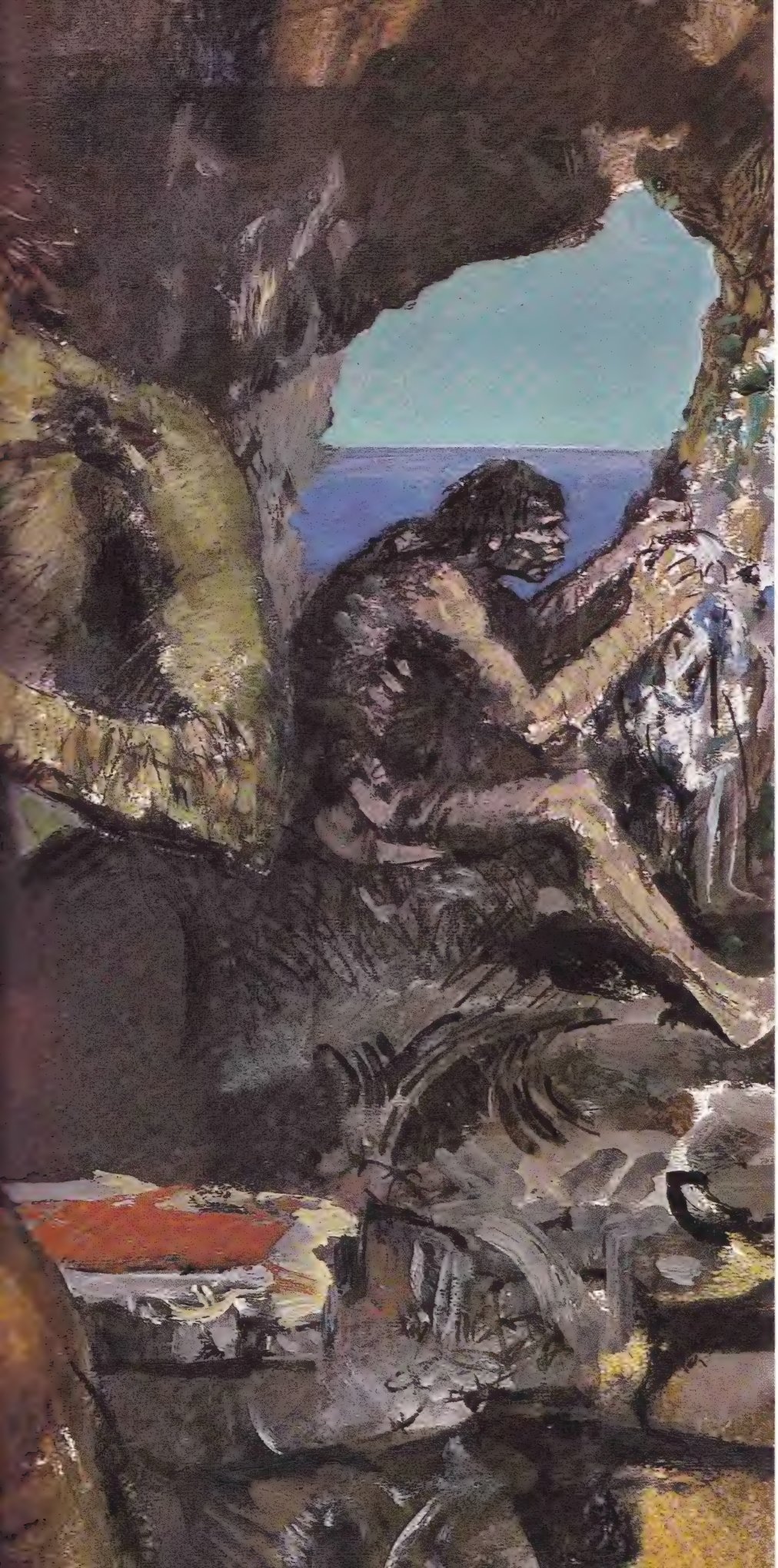
den damals typischen Schabern mit sowohl spitzen als auch kurzen, dicken Enden weiterverarbeitet worden.

Schaber verwendete man unter anderem bei der Herstellung von Bohrern aus Knochen, die manchmal am einen Ende einen Kopf (ähnlich dem eines Nagels) besaßen. Unter den allerersten gravierten Werkzeugen befanden sich einige Knochenstäbe, die in regelmäßigen Abständen eingekerbt waren. Es gab auch manchen Zierat und viele Schmuckstükke, z. B. durchbohrte Zähne und Schneckenmuscheln, die vermutlich im Châtelperronien zu Ketten aufgereiht wurden. Ferner fand man Kalksteintäfelchen und Hornstäbchen mit eingeritzten „Zeichnungen". Wir wissen, daß die dafür verantwortlichen Künstler in Hütten in der Nähe von Höhleneingängen oder Felsüberhängen lebten. Die Felle, aus denen ihre Zelte bestanden, waren durch Steine oder Zeltstangen aus Mammutstoßzähnen befestigt.

Typisch für das Aurignacien waren im übrigen sehr dünne, lange Klingen und Knochenspitzen, die am einen Ende gespalten waren, damit man einen Holzgriff einsetzen konnte. Es gab auch Stichel und längliche Wurfspitzen aus Knochen. Da wir aber keine schlüssigen Beweise dafür haben, daß der Mensch schon damals Pfeil und Bogen kannte, kann man hier nicht von Pfeilspitzen sprechen. Die wichtigsten Waffen waren immer noch der Speer und die Harpune.

Oben rechts: Statuette eines weiblichen Körpers aus Knochen (Spätaurignacien), eine der frühesten Darstellungen des menschlichen Körpers überhaupt. Die die Fruchtbarkeit beschwörende Bedeutung ist offenkundig (Les-Eyzies-de-Tayac, Musée Préhistorique).

Oben links Erzeugnisse des Gravettiens; von links nach rechts: eine typische Fléchette (49 mm lang); eine stielförmige Spitze, die, in einen Griff eingesetzt, als Skalpell benutzt wurde (78 mm lang); ein Bohrer; eine typische zugespitzte Klinge.



Links: Die Wandmalerei des Paläolithikums hatte magische Bedeutung. Der Mensch glaubte, daß er ein Tier, indem er es abbildete oder schnitzte, leichter erlegen könne. Mit dem Abdruck seiner Hand auf der Höhlenwand hoffte er, Macht über die abgebildeten Tiere zu erlangen.

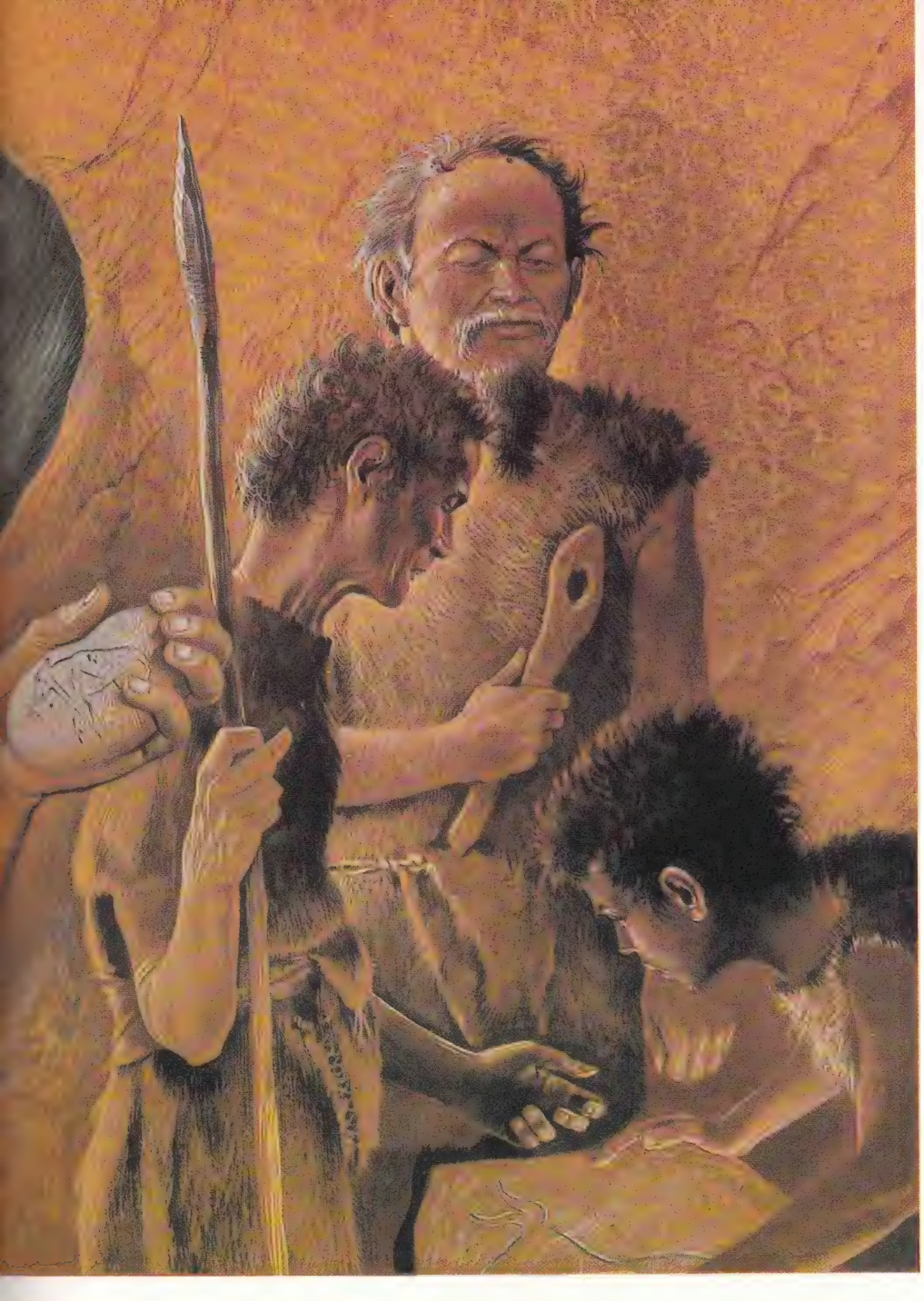
Form und Farbe

Oben: Steine des Paläolithikums, in die Tierzeichnungen eingeritzt sind, mögen von Jägern als Amulette getragen worden sein.

Rechte Seite, ganz rechts: Vier Ritzzeichnungen der paläolithischen Wandmalerei, die nach A. Leroi-Gourhan vier Stilformen verkörpern; Fundorte von oben nach unten: Belcayre, Abri Ceillier, La Grèze (alle Dordogne) und Pair-non-Pair (Gironde).

Im Aurignacien entstanden die ersten figürlichen Zeichnungen. Anhand der Einkerbungen auf den kleinen Knochenstäben und Châtelperronientafeln können wir die Bedeutung der in Kalksteintafeln eingeritzten „Entwürfe" verstehen. Diese Entwürfe zeigen einige Tiere im Profil abgebildet, zusammen mit mehreren Symbolen, die in abstrakter Form den Mutterleib darstellen. Die Zeichnungen auf diesen kleinen Tafeln aus dem Aurignacien sind fast durchweg skizzenhaft unvollständig. Sie wirken gleichwohl niemals primitiv oder unsicher, vielmehr scheint der Gegenstand der Abbildung auf seine einfachsten Grundzüge reduziert zu sein – eine mit wenigen Strichen perfekt gezeichnete Figur.

Bemerkenswert ist, daß sich diese frühen figürlichen Darstellungen auf einer transportablen Fläche befinden, d.h. auf Gegenständen,



welche leicht von Ort zu Ort getragen werden konnten, wie dies wahrscheinlich auch geschah. (Es handelt sich also nicht um Wandzeichnungen auf festem Felsgestein.) Der Mensch trug die kleinen Tafeln mit den Darstellungen seiner Beute vermutlich mit sich herum, um einen Einfluß auf die Tiere, die er töten wollte, auszuüben, sie gleichsam „anzulocken", so daß sie ihm gewissermaßen erlaubten, sie zu erlegen. Die symbolische Darstellung der weiblichen Geschlechtsorgane hatte wahrscheinlich die Funktion, bei den Jagdtieren größere Fruchtbarkeit zu bewirken und auf diese Weise mehr Beute zu sichern.

Das ist denn auch der Grund dafür, daß es auf diesen Tafeln nur wenige schematische Linien und Hauptmerkmale gibt: Für den „Sympathiezauber" (wie man diese Form magischen Umgangs mit der Wirklich-

keit nennt) sind nur die typischen Merkmale erforderlich. Die Zeichnungen sind also nicht primitiv, sondern komprimiert. Moderne Mißverständnisse dieser Kunst gegenüber rühren daher, daß wir uns ihr in einer falschen Haltung nähern, indem wir ästhetische Prinzipien (statt magischer) an sie herantragen. Das hindert uns daran, einerseits das „Beiläufige" der Schönheit in den Werkzeugen des Moustériens zu erkennen und andererseits den funktionalen Charakter der Zeichnungen aus dem Aurignacien zu verstehen. Dieser Interpretation wird nicht von allen Wissenschaftlern zugestimmt. Wir werden weiter unten die anderen „Interpretationen" nebst Belegen aufführen. An der magischen Bedeutung der Zeichnungen ist jedoch nicht zu zweifeln.

Neben der Kultur des Aurignacien, und diese gelegentlich sogar überragend, gab es die Kultur des *Gravettien,* die ihren Namen nach dem Abri La Gravette in der Gemeinde Bayac (Dordogne, Frankreich) trägt. Sie ist gekennzeichnet durch flache Meißel und Fléchettes (kleine, längliche Abschläge, die nur ganz leicht bearbeitet sind) sowie abgestumpfte Klingen, die wahrscheinlich als Messer und Skalpelle dienten. Die Tafelzeichnungen des frühen Gravettiens waren einen Hauch raffinierter als die typischen Arbeiten des Aurignaciens. Hier werden Tiere schematisch nach bestimmten festgelegten Regeln dargestellt: Eine geschwungene Linie kennzeichnet den Rücken, unabhängig von der darzustellenden Art; die Füße sind fast nie vollkommen ausgeführt, die Augen sind dagegen immer erkennbar.

Formalistische Züge finden sich auch in den Flachreliefschnitzereien von *Laussel* (Dordogne): menschliche Figuren, deren Konturen tief eingraviert sind, während die Oberfläche besonders ausgearbeitet wurde, um dem Ganzen mehr Profil zu geben. So hält z. B. eine weibliche Figur etwas, das dem zunehmenden Mond ähnelt; zwei andere Figuren sind einander so zugeordnet, daß man an einen Geburtsvorgang oder einen Koitus denkt.

Die berühmten paläolithischen *Venusfiguren* gehören zur Kulturperiode des Gravettiens. Die Venus von *Willendorf* (ein Dorf in Niederösterreich) besitzt eine aufwendig gestaltete, wellige Haartracht, schwere Brüste, einen stark betonten Bauch und ein ausgeprägtes Hinterteil. Die Figur besteht aus Kalkstein und ist sehr sorgfältig bearbeitet. Offenbar hatte die auffällige Betonung der weiblichen Merkmale eine die Fruchtbarkeit beschwörende Bedeutung.

Andere sehr bekannte Venusfiguren ist die Venus von *Lespugue* (Haute-Garonne), die aus dem Elfenbeinstoßzahn eines Mammuts geschnitzt wurde, und die von *Dolní Věstonice* (bei Brünn im südmährischen Gebiet), die aus Ton und Knochenpulver geformt wurde. Die Venus von *Savignano Sul Panaro* (in der Nähe von Modena, Italien) konnte man nocht nicht genau datieren. Sie ist den früheren „Modellen" nicht unähnlich, aber etwas stärker stilisiert. Bemerkenswert ist ferner ein kleiner Frauenkopf, der in *Brassempouy* am Fuß der Pyrenäen gefunden wurde und durch seine wunderschöne Elfenbeinarbeit und die Feinheiten im Detail auffällt. So ist z. B. die Nase sehr fein modelliert. Das Haar der Frau scheint von einer Art Haarnetz gehalten zu sein.

Die gerundeten Tierfiguren aus verschiedenen Teilen Mittel- und Osteuropas (Pavlov im südmährischen Gebiet, Kostjonki im Tal des Don) stammen aus einer etwas späteren Zeit und weisen auf eine Kulturperiode *(Pavlovien)* hin, die parallel zum Gravettien existierte.

Ganz ähnliche Zeichnungen wie auf diesen herrlichen Exemplaren einer „Art mobilier" oder beweglichen Kleinkunst erscheinen auf

Rechte Seite: Die berühmten paläolithischen „Venusfiguren"; von links nach rechts: Lespugue, Frankreich (Gravettien); Savignano sul Panaro, Italien (Aurignacien – Périgordien); Willendorf, Österreich (aus Kalkstein gearbeitet; Gravettien); Laussel, Frankreich (Basrelief auf Stein; Gravettien – Solutréen); Sireuil, Frankreich.

Weiblicher Kopf, aus Elfenbein geschnitzt (Gravettien), gefunden in Brassempouy (Landes, Frankreich).

Höhlenwänden. So sind z. B. in der Höhle *Pair-non-Pair* in der französischen Gemeinde Prignac-et-Marcamps (Gironde) zahlreiche Wandgravierungen von Pferden, Wisenten, Mammuten und Steinböcken erhalten. Die angewandte Technik ist derjenigen der Steintafelgravierungen ähnlich.

Im Gravettien entstanden viele Hüttensiedlungen. Die *Hütten* waren manchmal ziemlich groß (mit elliptischem Grundriß, etwa 6 m breit und 30 m lang) und oft von Jagdtrophäen (z. B. der Moschusochsenschädel in Kostjonki) gekrönt. Normalerweise waren sie in mehrere Kammern aufgeteilt. In Dolni-Věstonice hatte eine Hütte eine Art niedrige Grundmauer aus Stein und Lehm.

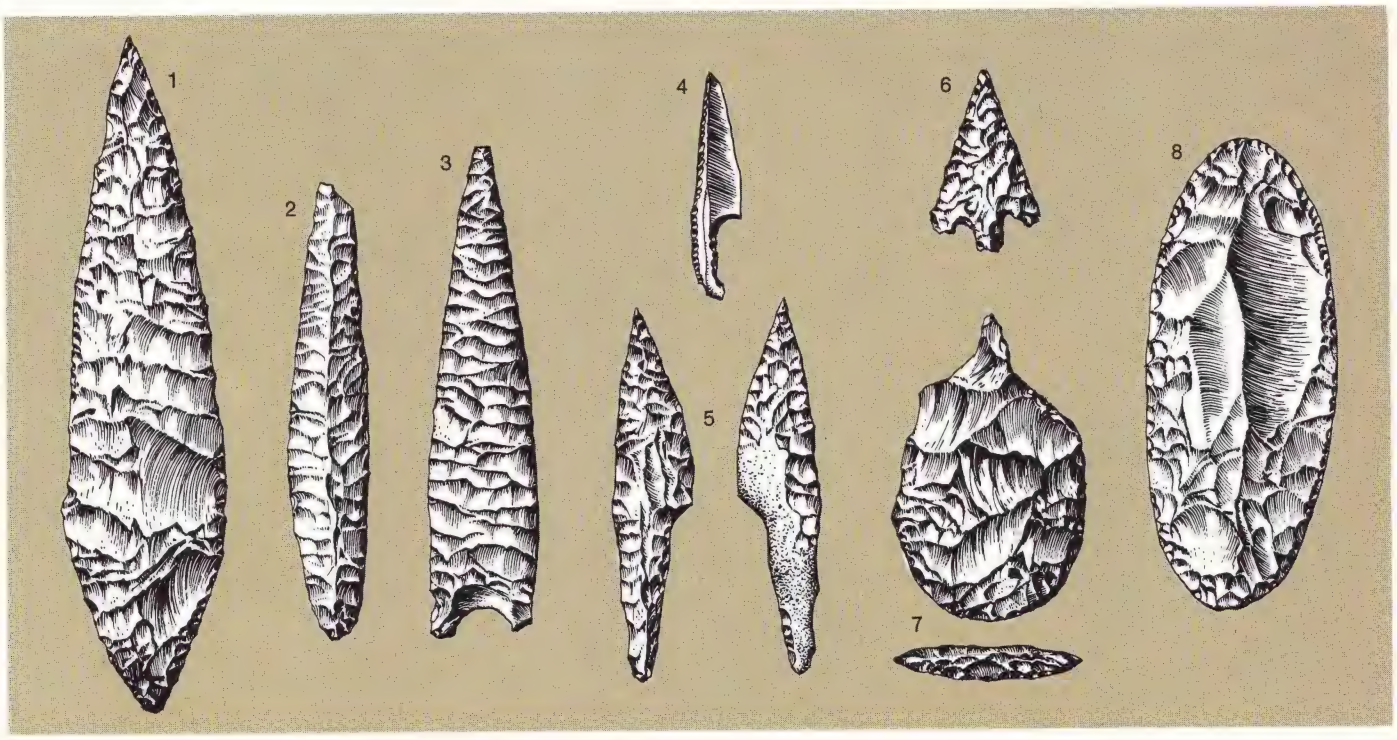
Nach dem Gravettien setzte sich die Kulturperiode des *Solutréen*

durch. Sie trägt ihren Namen nach dem Fundort Solutré-Pouilly am Oberlauf der Loire. Sie dauerte 5 000 bis 6 000 Jahre und endete vor rund 15 000 Jahren. Das Solutréen ist durch fein ausgearbeitete Blattspitzen charakterisiert, die manchmal 30 cm lang waren. Während des Solutréens trat an die Stelle der Zeichnungen auf den Höhlenwänden die Malerei. Zum ersten Mal wurden auch Farben verwendet.

Blicken wir nun dem Künstler ein wenig bei seiner Arbeit über die Schulter: Als erstes zeichnet er einen einfachen Umriß seines Bildes mit schwarzer Farbe (Manganoxid) an die Wand. Dann werden innerhalb der Umrisse die Farben (gewöhnlich Rot oder Ocker) fleckenweise aufgetragen. Viele der Felsmalereien in den Pyrenäen stammen aus dieser Zeit und zeigen diesen „Stil". Besonders ausdrucksvoll pflegte der Künstler die Hände (und natürlich die Tierfiguren) darzustellen. Manchmal sind die Hände „im Negativ" abgebildet, d. h., einer drückte seine Hand gegen die Höhlenwand; um diesen Abdruck herum wurde dann Farbe aufgetragen. Dadurch entstand eine farbige Fläche, in der die Form der Hand farblos hervortrat. Manchmal war der Handabdruck auch „positiv" ausgemalt. Offenbar bedeuteten die Hände, daß die abgebildeten Beutetiere vom Menschen gefangen und beherrscht wurden.

Die magische Bedeutung der Wandmalerien wird durch die Tierfriese in *Le Roc de Sers* (Departement Charente, Frankreich) und im *Abri du Cap Blanc* (in der Nähe von Les-Eyzies-de-Tayac in der Dordogne) bestätigt. Hier wurden dieselben Felsblöcke mehrfach überarbeitet, wodurch im Laufe der Zeit die Körper früher abgebildeter Tiere durch Übermalung die Köpfe anderer Tierarten erhielten. Die häufige Wiederholung dieses Verfahrens deutet darauf hin, daß der Mensch die Abbildung eines Tiers als Teil seines Jagdzaubers betrachtete. Die berühmtesten Höhlenmalereien der Vorgeschichte entstanden im späten Solutréen: die Pferde und Wisente von Lascaux.

Funde aus dem Solutréen;
1 Lorbeerblattspitze; 2 Weidenblattspitze;
3 Spitze mit konkavem Unterteil;
4 eingekerbte Spitze; 5 größere eingekerbte Spitze, von beiden Seiten gesehen;
6 geschäftete Spitze mit kleinen Flügeln;
7 Lorbeerblattbohrer; 8 retuschierter eiförmiger Schaber.

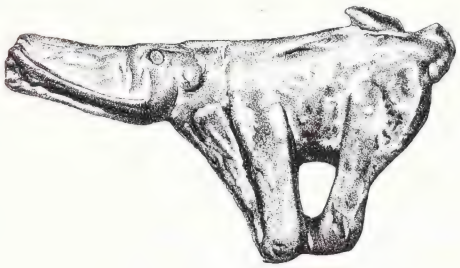


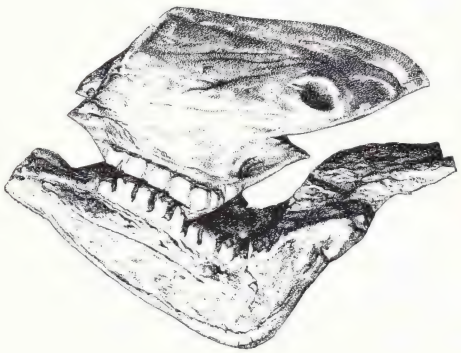
Die reichste und vielfältigste aller europäischen Kulturen des oberen Paläolithikums war das *Magdalénien* (benannt nach dem Fundort La Madeleine im nördlichen Vorortbereich von Lille). Unter den Knochen- und Elfenbeinstücken befanden sich Harpunen mit paarweise angeordneten Haken, Spitzen in allen Formen und Größen, Plättchen und Anhängsel, kleine Tierfiguren und *Lochstäbe* (sog. „Kommandostäbe"), die aus Hirschgeweih gefertigt waren. Die Feuersteinbearbeitung war sehr vielseitig: Schaber und Bohrer, deren Spitze stark gekrümmt war. Muscheln und durchbohrte Zähne waren als Schmuckstücke sehr beliebt. Ausgrabungen von Siedlungen brachten Stößel, Schleifsteine (leicht gewölbte Steine, auf denen man kleinere Kieselsteine bearbeitete), Ambosse, Heizpfannen, primitive Blasinstrumente (Pfeifen und Flageolette) aus Knochen und Elfenbein, kleine Spachtel, mit denen man vielleicht beim Malen die Farbe auftrug, sowie Nadeln und Klammern zutage. In der Höhle von Lascaux wurde sogar der Abdruck eines sorgfältig geflochtenen Seils gefunden.

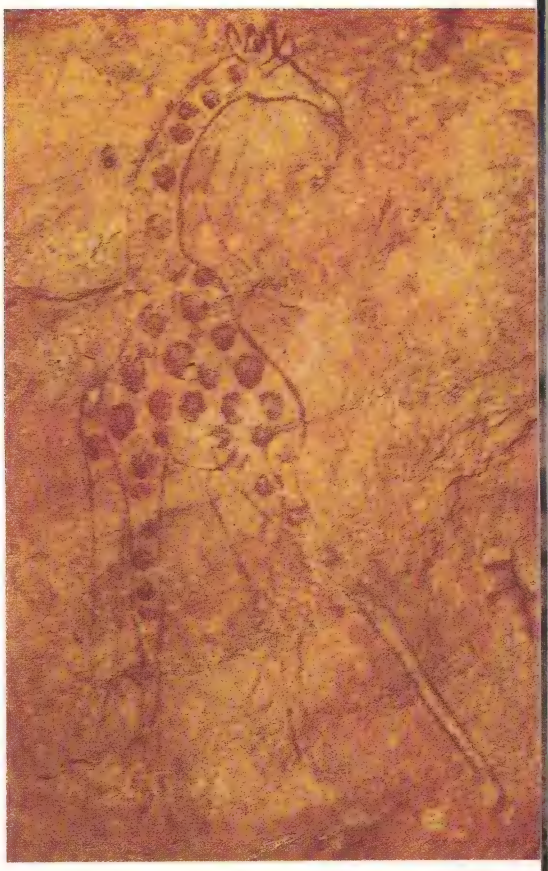
Besonders wichtig war die Erfindung der Speerschleuder. Diese Waffe bestand aus einem gekrümmten Stab (meist aus Rentiergeweih), der als „verlängerter Arm" des Jägers diente und es ihm ermöglichte, seinen Speer viel weiter und mit größerer Geschwindigkeit zu schleudern als mit der bloßen Hand. Möglich ist auch, daß der Mensch im Magdalénien bereits Pfeil und Bogen benutzte. Auch Tierfallen hatte man unterdessen wahrscheinlich schon ersonnen. So vermuten manche Forscher z. B., daß die kompliziert aussehenden Knotengeflechte und käfigähnlichen Gebilde, die oft über gemalten Tierfiguren aufgetragen sind, Jagdfallen darstellen.

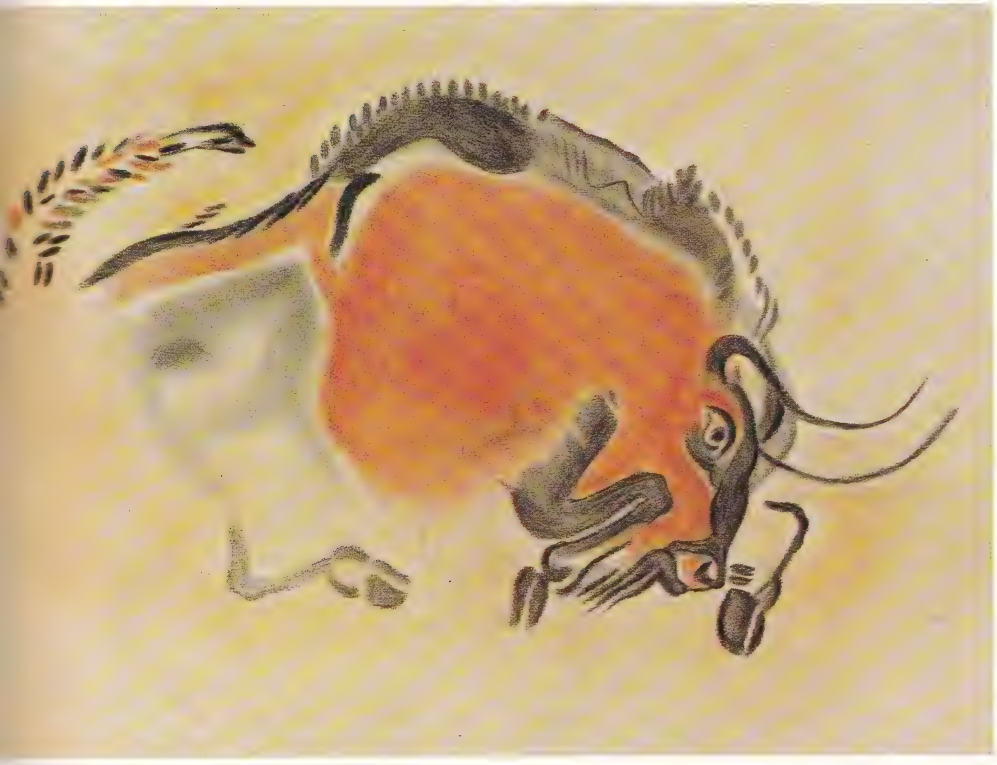
Doch zurück zu den Höhlenmalereien. Die neueren Kunstwerke von Lascaux, Altamira, Les Combarelles und El Castillo werden alle dem

Kunstgegenstände der ersten Periode des Magdaléniens: Unten: Mammut auf Rentiergeweih (Bruniquel, Frankreich); darunter: Hirschschädel aus Knochen; rechts: Fragment einer Speerschleuder, verziert mit den geschnitzten Figuren zweier Steinböcke im Kampf (Trois-Frères, Frankreich).









Die berühmten Tierfiguren der Wandgemälde von Altamira sind zum großen Teil einer Zwischenphase der Stilform IV zuzuschreiben. Links oben: Hirsch mit kleinem Wisent; links unten: mehrfarbiger Wisent; rechts oben: Giraffe.

Magdalénien zugeschrieben. In diesen Spätphasen erreichte der Realismus eine eindrucksvolle Aussagekraft. Die Helldunkelmalerei und die Schattierung, die verfeinerte Anwendung von Farbe: alles trug dazu bei, daß diese Felsgemälde zu den schönsten Kunstwerken der Menschheit überhaupt gehören.

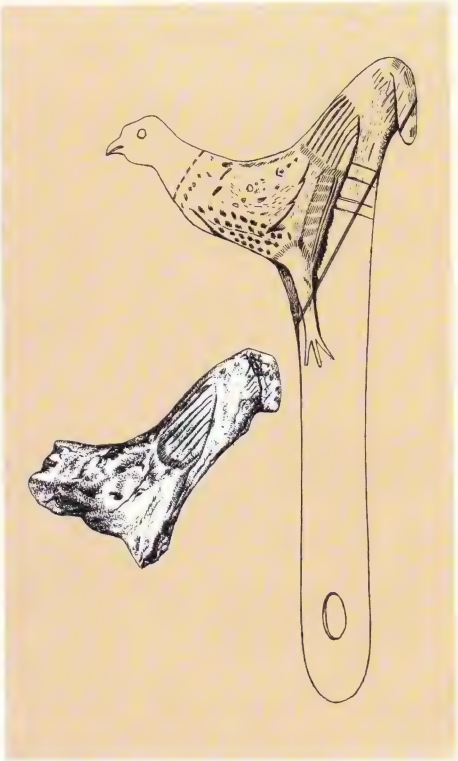
Der Mensch ist das Maß der Dinge

Wir wollen nun nicht übertreiben und so tun, als seien all diese Höhlen Sixtinische Kapellen. Solche Übertreibungen sind nicht nur überflüssig, sondern sie sind auch dazu angetan, Verwirrung zu stiften, und in der Sache führen sie ohnehin nicht weiter.

Viele Wandmalereien zeigen deutlich, aus welchen konkreten Gründen sie angefertigt wurden. In vielen Fällen sind die Tiere im Todeskampf dargestellt, mit Speeren oder Pfeilen im Körper. In anderen Fällen zeigen Spuren an der Wand, daß man mit Speeren auf die Darstellungen eingeschlagen hatte. Einige Figuren zeigen unbekannte „Tiere". Es handelt sich dabei offenbar um Zauberer oder Medizinmänner, die sich in Tierhäute gehüllt und entsprechende Hörner aufgesetzt hatten.

Der Mensch richtete seine Umwelt stets nach menschlichen Maßstäben ein. Er bewältigte sie zunächst in Gestik und Gebärde, sozusagen als theatralische Wiederholung eines Ereignisses, und verlieh ihr dann bildhaften Ausdruck in der Malerei und Skulptur. Auch wenn die Zauberer in diesen Felsmalereien sehr selten erscheinen, weist ihre Existenz doch auf die ständige Präsenz des Menschen als Beobachter und „Verwandler" der Natur hin. In Lascaux erscheint ein „phantastisches Tier" mit einem offenbar voller Absicht angeschwollen dargestellten Bauch: Sollte dies die schauspielerisch angedeutete Fruchtbarkeit des Zauberers herbeibeschwören?

Fragment einer Speerschleuder in Gestalt eines Auerhahns; daneben die Rekonstruktion der ganzen Waffe nach einer Zeichnung von Henri Breuil.



Die jüngsten Interpretationen dieser Höhlenmalereien von A. Leroi-Gourhan und Annette Laming-Emperaire beruhen auf exakten statistischen Daten. Einigen Fachleuten scheint das Übergewicht gewisser Darstellungen vor anderen statistisch so erdrückend zu sein, daß sich ihrer Meinung nach zwei Kategorien von symbolischer Bedeutung ergeben: Die erste (männlich) umschließt Pferde, Figuren von Männern und den Pfeil, die andere (weiblich) den Wisent, die Frau und Wunden. Die Verbindung von Pferd und Wisent kommt außerordentlich häufig vor. Sie ist nach dieser Deutung nichts weiter als eine symbolische Darstellung der geschlechtlichen Vereinigung des männlichen und weiblichen Elementes.

Dies wird jedoch problematisch, wenn man die anderen Figuren, die in den Malereien vorkommen, zu deuten versucht; denn es handelt sich dabei ja nicht nur um Phantasietiere und Zauberer, sondern im Grunde um einen ganzen Zoo, in dem praktisch alle Tiere, die der Mensch damals kannte, dargestellt sind: also etwa Lachse, Eulen, Höhlenlöwen, Rentiere, Hirsche, Steinböcke, Mammute, verschiedene Elefanten, eine endlose Parade detaillierter, lebensnaher Porträts. Trotzdem hilft uns eine symbolische Interpretation weiter. Wir können mit ihrer Hilfe abermals die Bedeutung dieser Malereien im Zusammenhang mit den Problemen der Fruchtbarkeit und des Überflusses an möglichen Beutetieren erörtern. In jedem Fall werden die Figuren in ein Verhältnis zum Menschen gesetzt. Selbst dort, wo der Realismus der Darstellung anzudeuten scheint, daß es sich um eine objektive Interpretation, um eine Darstellung nach der Natur handelt, zeigt der Abdruck eines Speers oder einer Hand, daß dies alles letztlich nur einem Zweck diente: Das

Ausschnitt aus der Darstellung der vorbeistürmenden Tierhorden in der Höhle von Lascaux.

gejagte Tier in freier Wildbahn sollte das gleiche Schicksal erleiden, wie es in der bildlichen Darstellung bannend gezeigt wird.

Riten und Symbole

Die meisten Begräbnisstätten des oberen Paläolithikums wurden in einem mit Ocker vorbehandelten Boden gefunden und waren oft mit Steinplatten bedeckt. Der Leichnam befindet sich manchmal in Hockstellung und hat immer eine Auswahl von Gegenständen des täglichen Gebrauchs bei sich (Äxte, Harpunen, Messer). Wahrscheinlich wurden die Toten auch festlich hergerichtet; in vielen Fällen fand man nämlich bei ihnen Brustschmuck und Kopfbedeckungen aus durchbohrten Muscheln. Menschliche Knochen, die vor der Beerdigung „bearbeitet" worden waren, finden sich sehr selten. Ein Schädel von *Le Mas d'Azil* hatte zwei Knochenscheiben in den Augenhöhlen, die das Vorhandensein der Augen vortäuschen sollten.

Wir wollen uns nun etwas näher mit den rituellen Bräuchen und dem wahrscheinlichen „Zweck" der Wandmalereien beschäftigen. Die Malereien befinden sich meist in fast unzugänglichen Teilen der Höhlen, jedenfalls immer ziemlich weit vom Eingang entfernt. Offenbar glaubte

Oben: Abbildung eines ithyphallischen Mannes aus der Höhle von Lascaux.

Rechts: „Saal der Stiere" in der Höhle von Lascaux. Nach A. Leroi-Gourhan sind die meisten Figuren der Stilform III zuzuschreiben. Die Körper der Tiere sind schwer, ihre Hufe hingegen wirken zerbrechlich; Farbe und Dynamik der Bilder sind besonders eindrucksvoll. Unglücklicherweise hat sich innerhalb nur weniger Jahre, bedingt durch die ständige Öffnung der Höhle und den Besucherstrom, der Feuchtigkeitsgehalt der Luft in der Höhle verändert. Dadurch wurden das Wachstum und die Ausbreitung von Algen und Pilzen begünstigt, die die Höhlenmalerei von Lascaux zu zerstören drohten. Um dies zu verhindern, wurde die Höhle wieder geschlossen, und die Besucher müssen sich damit begnügen, Reproduktionen der Höhlenmalerei im Ortsmuseum zu bewundern.

man, daß die Dunkelheit für den Sympathiezauber, dem die Malereien dienten, günstiger sei. Jedenfalls wurden vor dem Hintergrund der Abbildungen vermutlich alle Phasen der Jagd wie auf einer Bühne in Szene gesetzt und durchgespielt. Das dargestellte Tier wurde zur Zielscheibe für Lehmkugeln, Knochen- und Elfenbeinstücke, die gegen das Bildnis geschleudert wurden. Manchmal wurde es auch regelrecht mit den Speeren „angegriffen", die später bei der wirklichen Jagd benutzt wurden. Während also dieses Ritual im entlegensten Teil der Höhle stattfand, wurden die Waffen (vielleicht auch nur Miniaturnachbildungen der Waffen) in der Nähe des Höhleneingangs niedergelegt.

Möglicherweise tauchte die Verbindung der Abbildungen mit Fruchtbarkeitssymbolen erst später auf, als die Bodenbearbeitung üblich geworden war. Die Darstellung trächtiger Tiere würde dann vielleicht anzeigen, daß der Mensch mittlerweile den tierischen Fortpflanzungszyklus kannte und trächtige Weibchen schonen wollte. Auffallend ist, daß an den Darstellungen weiblicher Tiere höchst selten Spuren von Lehm „geschossen" oder Speerstößen zu finden sind.

Die auffallende Tatsache, daß so selten menschliche Figuren in den Wandmalereien erscheinen, wird von vielen Fachleuten als Indiz dafür angesehen, daß es sich bei diesen Malereien eben um Sympathiezauber

handele: Alles, was an den gemalten Bildern „verübt" wurde, mußte auch in der Realität mit den Tieren geschehen, sei es das Jagen der Tiere bis zu ihrer Tötung oder sei es die erfolgreiche Vermehrung der Tiere. Eine menschliche Figur auf einer Felswand dagegen hätte für jeden Höhlenbesucher so etwas wie einen Blankoscheck bedeutet: Ein Feind hätte das Bildnis „angreifen" und dadurch der dargestellten Person Schaden zufügen können.

Es mag sein, daß manche Bilder nichts mit den Riten des Sympathiezaubers zu tun hatten und sich auf andere Riten bezogen. Wir hätten dann die Darstellungen von Zauberern, die sich als Tiere verkleideten, und andere Darstellungen von Initiationsriten, wie z. B. die äußerst kunstvollen Sgraffiti (Kratzputztechnik) in der *Addaurahöhle* bei Palermo auf Sizilien, in anderer Weise zu „lesen". In dieser Höhle ist ein auf dem Boden liegender Mann dargestellt, umgeben von etlichen anderen Männern. Seine Arme sind erhoben, aber waffenlos. Das Bild enthält einige sonderbare Details: Einige Männer tragen einen Penisschutz. Die Köpfe der anderen wirken entstellt durch etwas, das wie eine mächtige Kapuze oder eine übermäßige Haarfülle aussieht.

In vielen Höhlen kann man Fußabdrücke erkennen, die tief eingepreßt sind, als stammten sie von wild tanzenden Menschen. Solche

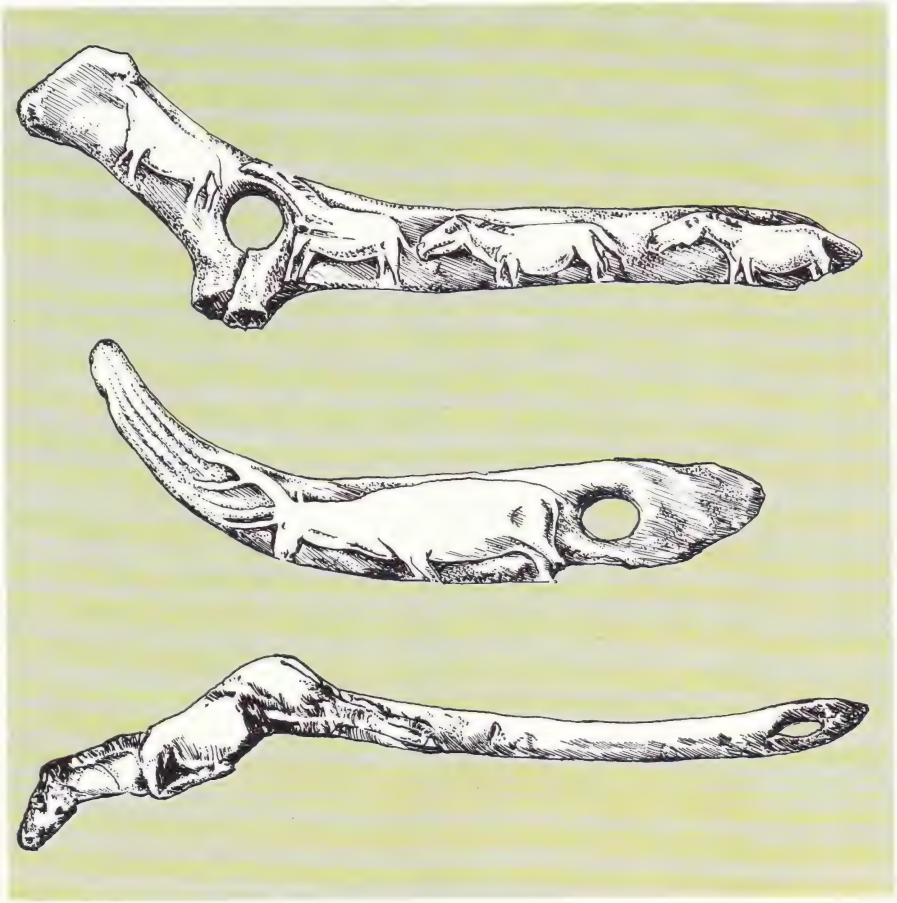
Das Töten eines Höhlenbären lieferte einer Cromagnongemeinde einen großen Vorrat an Fleisch. Gleichzeitig schaffte es ihnen einen gefährlichen „Mitbewohner" ihrer Höhlen vom Hals. Um gute Jagdbedingungen herbeizuführen, bediente sich der Mensch der Jagdmagie. Das Fangen und Töten von Raubtieren wurde von der Gruppe stellvertretend „gespielt", indem sie ein Felsstück mit einem Fell bedeckte, auf das dann die Gruppenmitglieder immer wieder mit einem Speer einstachen.

Fußabdrücke sind bezeichnend für das gesamte Paläolithikum (in einigen Fällen wissen wir, daß der Fuß nicht einem Homo sapiens fossilis, sondern einem Neandertaler gehörte). In der gesamten Entwicklungsgeschichte des Menschen spielten Tanz und mimische Darstellung eine wichtige Rolle, vom Beginn der Mannbarkeit an bis hin zur Phase des Erwachsenen, dessen Leben durch die tägliche Nahrungssuche ausgefüllt war. Solche Versammlungen verschiedener Einzelpersonen mit gleichen Interessen bildeten die ersten Beispiele eines organisierten sozialen Lebens.

Der Alltag

Während der Jungsteinzeit und besonders während der langen Periode des Magdaléniens vermochte der Mensch seinen Lebensstandard erheblich zu steigern. Er trug jetzt Kleidung aus Tierhäuten, die mit Knochennadeln zusammengenäht waren. Er konnte nach Herzenslust jagen und fischen, fast immer mit großem Erfolg. Er siedelte in Gegenden, wo es reichlich Wild gab, baute dort Hütten aus Tierfellen auf fest gestampften Erdflächen, die er häufig mit einer lehmigen Ockerschicht bedeckte (denn er hatte bereits die Erfahrung gemacht, daß Lehm wasserdicht ist) und umgrenzte sie mit einem Steinwall. Er schaffte die Überreste seiner Mahlzeiten aus der Behausung (die Schalen von Land- und Wasserschnecken wurden an manchen Orten in gewaltigen Mengen gefunden).

Kleinkunst aus dem Magdalénien: Unten: maskierter Mann, in ein Knochenstück eingeritzt (Museum von St. Germain-en-Laye); rechts (von oben nach unten): Rentiergeweih mit eingravierten Pferden (Britisches Museum); Hirsch auf Knochen (Fund in El Castillo; Santander, Museum für Vorgeschichte); Pferd, aus einem Hirschgeweih geschnitzt (Bruniquel). Die Größe dieser Gegenstände liegt zwischen 18 und 32 cm.



Die Nahrung des Menschen war vielseitig. Er jagte große und kleine Säugetiere (darunter viele Nagetierarten) und verschiedene Vogelarten. Der hoch im Kurs stehende Fischfang wurde vom Flußufer bzw. von der Meeresküste aus betrieben, was recht bequem gewesen sein muß, da die Unterkünfte des Cromagnonmenschen (Höhlen und Felsüberhänge) sich oft in solchen Gegenden befanden. Der Cromagnonmensch verspeiste außerdem Schalen- und Weichtiere. Wir wissen von ihm ferner, daß er Fleisch briet und vielleicht sogar einen Teig aus zermahlenen Getreidekörnern zubereitete. (Unter den Funden aus jener Zeit befinden sich auch Steinsicheln und Mühlsteine!) Alles in allem war der Mensch schon ein ziemlich hochentwickelter Jäger und Sammler.

Für die Natur blieb der Aufstieg des Menschen natürlich nicht ohne Folgen. Vielleicht waren die Auswirkungen nicht ganz so weitreichend, wie sie sich der Mensch in Verbindung mit seinen magischen Ritualen erhofft hatte, doch dafür waren sie beständig und systematisch. Durch seine genauen Beobachtungen der Fortpflanzungszyklen im Tier- und Pflanzenreich (vom Moustérien an) trug der Mensch seinen Teil bei zu den natürlichen Bedingungen, die den Übergang zum Neolithikum bestimmen sollten. In den naturgetreuen Darstellungen in den Höhlen von Altamira z. B. erkennen wir eine fast intime Beziehung des Menschen zum Leben der Tiere, die sich später als außerordentlich vorteilhaft erweisen sollte. Wir sollten dabei vorwegnehmend erwähnen,

In eine Höhlenwand eingeritzte Szene (Addaura bei Palermo, Sizilien). Wahrscheinlich ist eine Initiationszeremonie dargestellt. Die Figuren auf dem Boden scheinen alle ithyphallisch zu sein. Manche der Anwesenden tragen eine seltsame Kopfbedeckung, vermutlich aus Tierhäuten.

Diese etwas abstrakt anmutenden Zeichnungen (El Castillo, Spanien) werden allgemein als Sexualsymbole interpretiert. Sie deuten vermutlich auf einen Fruchtbarkeitskult hin.

daß die am häufigsten dargestellten Tiere (Pferde, Wisente) nicht als erste vom Menschen gezähmt wurden. Sonderbarerweise sind dagegen z. B. Abbildungen von Wölfen, die nach Meinung mancher Fachleute im späten Paläolithikum allmählich zu Hunden „wurden", sehr selten. Es scheint also, daß die „magischen Malereien" sich hauptsächlich auf diejenigen Tiere bezogen, die am schwersten zu zähmen waren.

Ein anderer Aspekt ist die Schonung trächtiger Weibchen. Ein solches Jagdverhalten hatte zweifellos zur Folge, daß sich bestimmte Tierarten im Verhältnis zu anderen stärker vermehren konnten. Die „Feinde" des Menschen, die er zur Selbstverteidigung tötete, waren Raubtiere, die ja ihrerseits vor allem die nützlichen Tierarten jagten. Indem sich also der Mensch gegen die Raubtiere verteidigte, schützte er indirekt das Wild, das er jagen wollte.

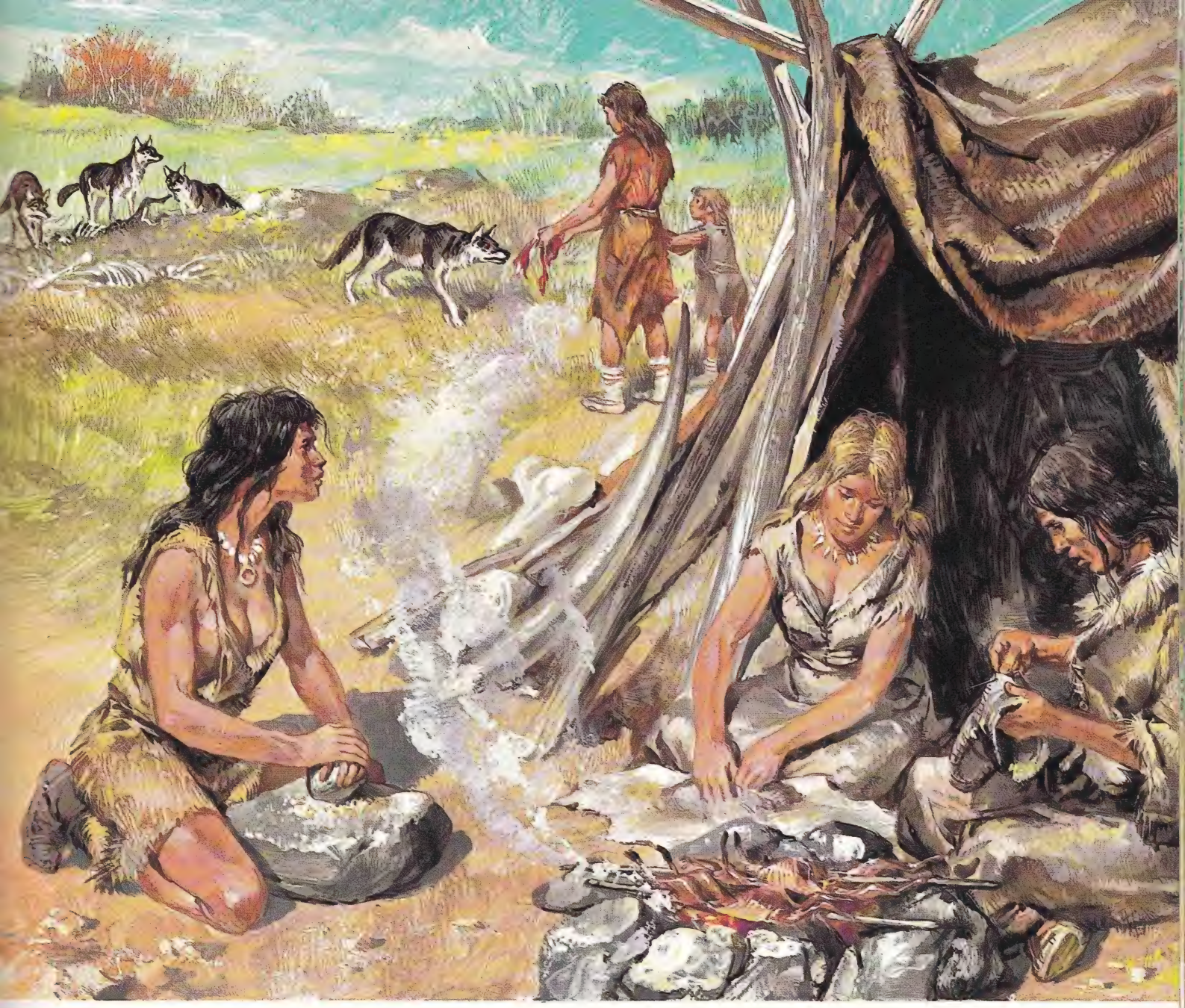
Wir erwähnten bereits die Domestikation des Wolfs. Auf diese Weise verwandelte der Mensch einen Gegner in einen Mitarbeiter und in ein lebendes Werkzeug bei der Jagd.

Unter den Fossilien, die gelegentlich bis zu 200 km weit von ihren sonstigen Hauptfundorten (ihren ursprünglichen Lebensstätten) entfernt entdeckt werden, befinden sich manchmal merkwürdige Objekte, denen der Mensch vielleicht geheimnisvolle magische Wirkungen zugeschrieben hatte. In Arcy-sur-Cure (Departement Yonne) z. B. fand man in mehreren Ablagerungen Ammoniten- und andere Weichtierschalen sowohl von lebenden als auch von längst ausgestorbenen Arten. Gewöhnlich wurden diese durchbohrt und zu Ketten aneinandergereiht.

In Europa endete die erste wichtige Phase der Vorgeschichte vor rund 9000 bis 10000 Jahren mit dem Übergang zum Neolithikum. In anderen Gegenden, besonders im Nahen Osten, kam die Übergangsperiode viel schneller und früher.

Während in Afrika das Capsien weiterbestand, florierte in China in der Gegend des Ordosplateaus, das durch den riesigen Bogen des Hwangho begrenzt wird, eine Kultur, die man *Ordoskultur* nennt (so benannt nach dem Ordosplateau). Es gab dort eine wichtige Industrie von kleinen Quarzklingen (Quarz war damals das einzige Arbeitsmaterial, das es dort gab). Andernorts wurden Levalloisienartefakte und einige bezüglich der Klingen ziemlich fein bearbeitete Werkzeuge hergestellt.

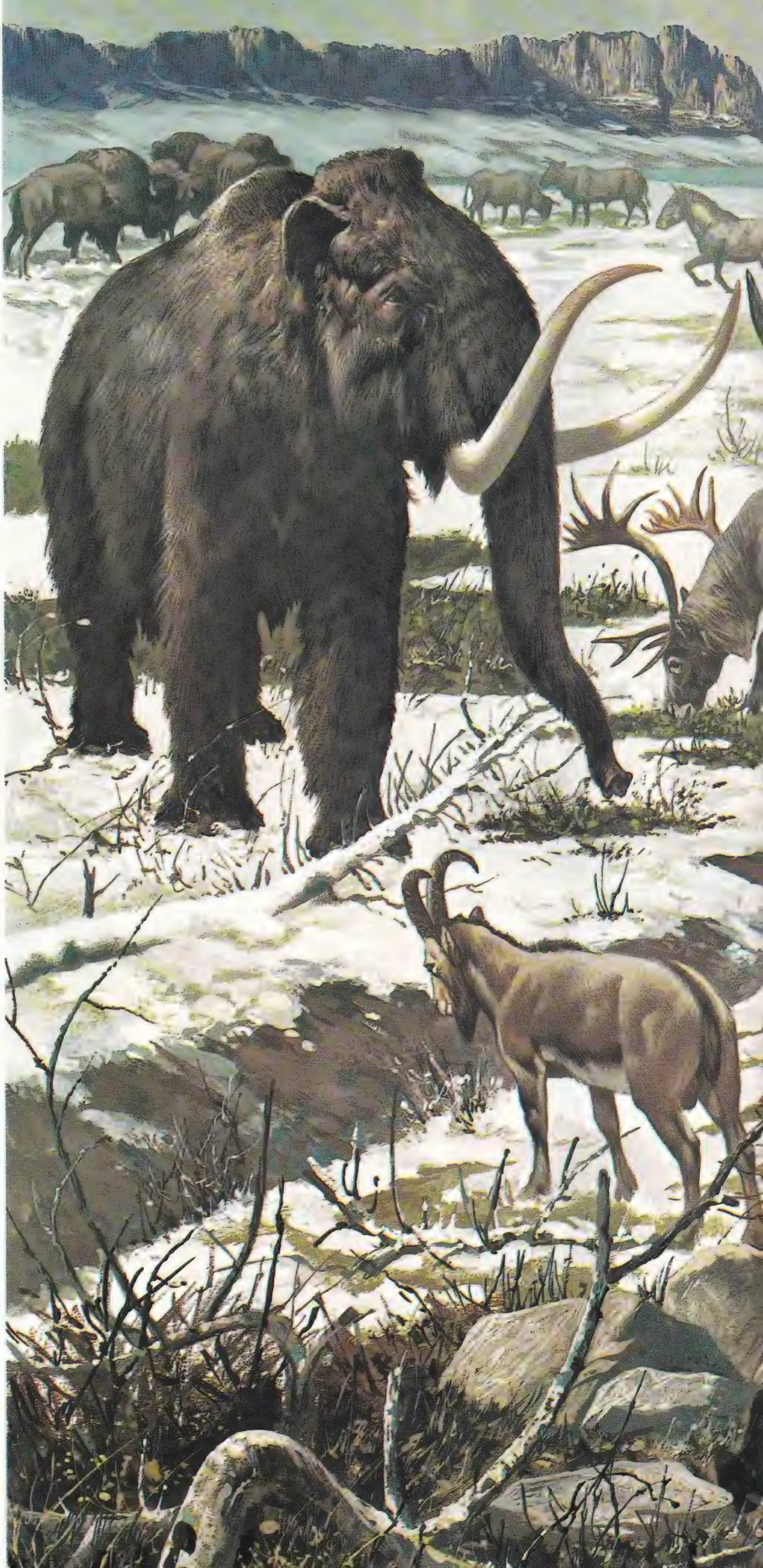
Die ersten eindeutig amerikanischen Werkzeuge von Bedeutung sind außer einigen verkohlten Mammutknochen (ein Beweis für herdähnliche Feuerstellen) aus der Zeit von vor 25000 Jahren Werkzeugfunde aus der Gegend von *Tule Springs* in der Nähe von Las Vegas (Nevada); diese Werkzeuge wurden vor 13000 bis 10000 Jahren hergestellt. Der Technik nach haben sie Ähnlichkeit mit den Erzeugnissen der Levalloisienindustrie. Charakteristisch sind auch die sog. *Sandia-, Clovis-* und *Folsomspitzen* (alle nach Fundorten in Neumexiko benannt). Die Herstellungstechnik ist bei diesen Spitzen mit der Technik des Gravettiens vergleichbar. Typisch, besonders bei den Clovis- und Folsomartefakten, sind die stark konkaven, an den Rändern sorgfältig bearbeiteten Formen. Die Daten, die diesen Funden entsprechen, umfassen eine Zeitspanne von rund 2000 Jahren: von 10000 bis 8000 v. Chr. Damals lebten die Menschen hauptsächlich von der Jagd auf Mastodonten, Mammute und (später) Wisente. Man kann sich gut vorstellen, wie diese Nomaden die großen Herden wilder Tiere überallhin verfolgten. Es gibt gleichwohl keine wirklichen Beweise für eine Knochen- oder Hornbearbeitung.



Spärlich sind die Zeugnisse aus Mittel- und Südamerika, die obendrein auch noch kontrovers interpretiert werden. Die einzige Ausnahme bilden die Spitzen aus *Ayampitin* (Argentinien) und der *Fell-Höhle* (Patagonien). Es waren vor allem diese Funde, die es uns erlaubten, die Entwicklung einer bestimmten Art von gerillter Spitze zurückzuverfolgen. Man vermutet, daß solche Spitzen erstmals vor rund 10 000 Jahren hergestellt wurden.

In Patagonien fand man erste Beispiele symbolischer Darstellungen auf Felsen. Obwohl es Entsprechendes durchaus auch weiter nördlich gegeben haben kann, muß man diese Darstellungen aus Mangel an Beweisen als ein rein örtliches Phänomen betrachten. Einige Felszeichnungen, die in den USA und in Mexiko entdeckt wurden, sind umstritten. So gilt der in der *Jacobs-Höhle* in Missouri gefundene Knochen, auf dem die Umrisse eines Mastodons eingeritzt sind, als Fälschung. In *Tequix-*

Vielleicht begann der Mensch schon im späten Paläolithikum den Wolf zu zähmen und ihn in einen Hund zu „verwandeln".



Es gab zahlreiche Tierarten im paläolithischen „Zoo": Mammute, Rentiere, Wollnashörner, Steinböcke, Wisente, Bären, primitive Pferde (dem Prschewalskipferd ähnlich).

Die Wandmalerei ist eine Kunstform, die für primitive Völker aller Zeiten und aller Kontinente typisch ist. Diese stilisierten Figuren wurden von Bewohnern Arizonas in vorkolumbischen Zeiten gezeichnet.

quiac im Bundesstaat Hidalgo (Mexiko) wurde ein bearbeitetes und zu einem Tierkopf geformtes Kreuzbein gefunden. Es ist jedoch schwierig, diese Objekte richtig zu datieren, da Spuren aus der damaligen Tierwelt dieser Gegend nur sehr schwer zu deuten sind.

Eine logische, wenn auch noch recht vorläufige Schlußfolgerung aus diesen Erkenntnissen wäre, daß der damalige Mensch, der die fein bearbeiteten Folsom- und Clovispitzen herstellte, keine Wandmalereien schaffen konnte, weil ihm die gut „versteckten" Höhlennischen mit genügend Wandfläche fehlten. Er mußte sich deshalb für seine Beschwörungsmagie auf kleine Steintafeln verlassen, die er dann entsprechend verzierte, um bei der Jagd erfolgreich zu sein. Heute sind seine Wohngebiete zu Wüsten geworden, in denen solche Gegenstände nur noch schwer zu finden sind. Eine andere, etwas sachlichere Erklärung wäre, daß die Jäger vorwiegend Nomaden waren und daß das Fehlen der künstlerischen Produktivität durch den ständigen Wechsel der Lagerplätze bedingt gewesen sei.

Zwischenspiel

Vom Hunger getrieben

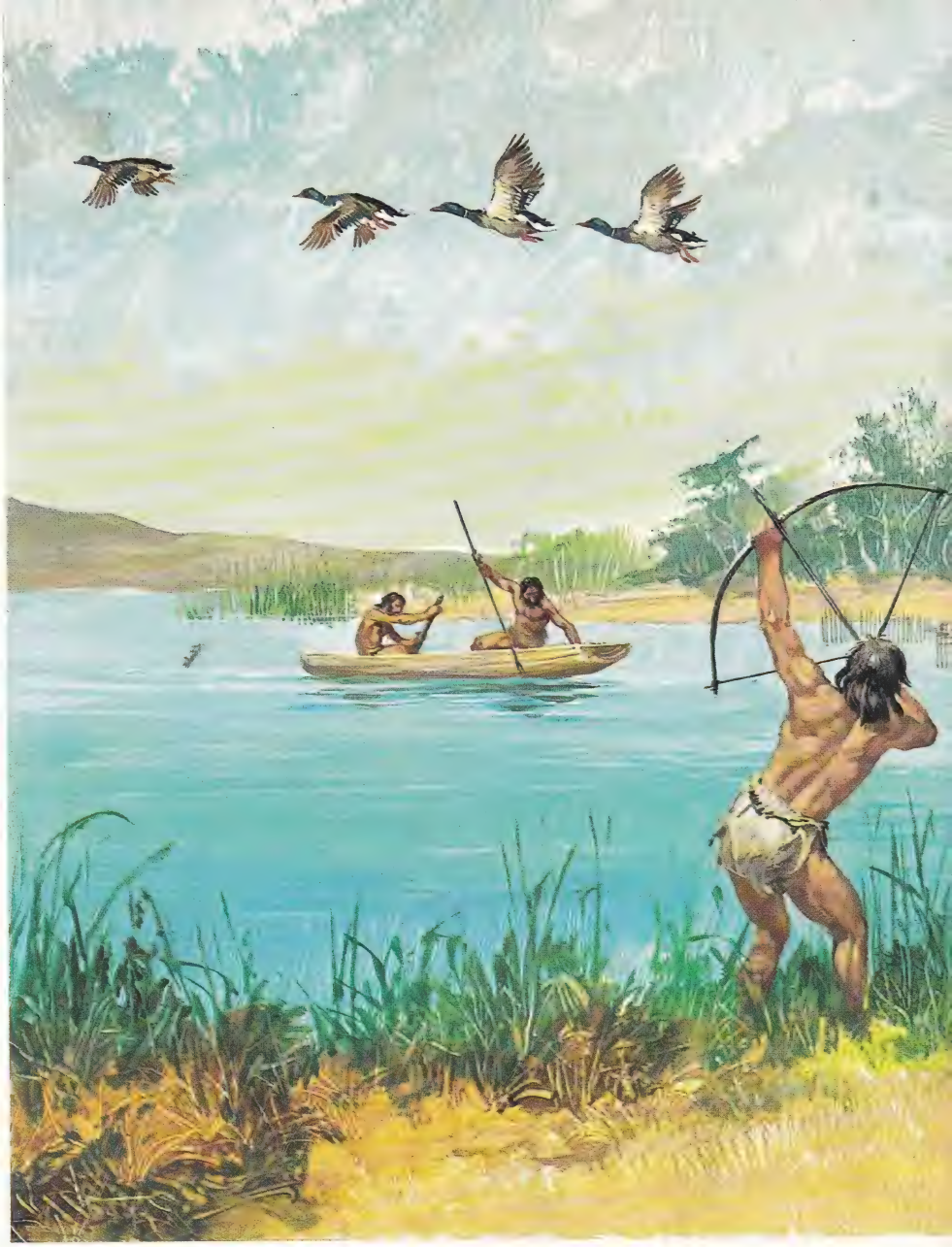
Am Ende der Eiszeit etablierte sich unsere heutige Pflanzenwelt. Zur selben Zeit starben manche Tierarten aus, die zu stark auf ein kaltes Klima „programmiert" waren; es ist natürlich auch möglich, daß in einigen Fällen (z. B. Mammut) der Mensch seine Hand im Spiel hatte.

Am Ende des Paläolithikums mußte der Mensch, da er nicht mehr imstande war, das ökologische Gleichgewicht, das er selber gestört hatte, wiederherzustellen, nach neuen Nahrungsquellen Ausschau halten. Er machte jetzt Jagd auf alle Arten von Nagetieren, verstärkte den Fischfang und fing an, Weichtiere (z. B. Muscheln und Schnecken) systematisch zu sammeln. Der Mensch stellte sich jetzt auch mehr und mehr auf das Verarbeiten von Gräsersamen ein. Er entdeckte ferner nahrhafte Eigenschaften an mehreren „neuen" Pflanzen bzw. an Pflanzen, die er bis dahin überhaupt nicht beachtet hatte (wie z. B. die Hülsenfrüchte).

Langsam aber stetig vollzog sich jetzt die Entwicklung des Menschen vom Jäger und Sammler zum „Umweltorganisator". In dieser Übergangszeit gab es an vielen Orten eine gutgehende Mikrolithenindustrie. *Mikrolithen* waren kleine Feuersteinfragmente mit scharfen, spitzen Kanten, die man auf verschiedene Weise an einem Griff befestigen konnte. Es ist sehr wahrscheinlich, daß mehrere solcher Mikrolithen, in ein Stück Holz oder Knochen eingesetzt, hervorragende primitive Sicheln abgaben. Man vermutet, daß Getreide liefernde Grasarten mit solchen oder ähnlichen Werkzeugen geschnitten wurden, ferner Binsen und andere, nicht verwertbare Gräser.

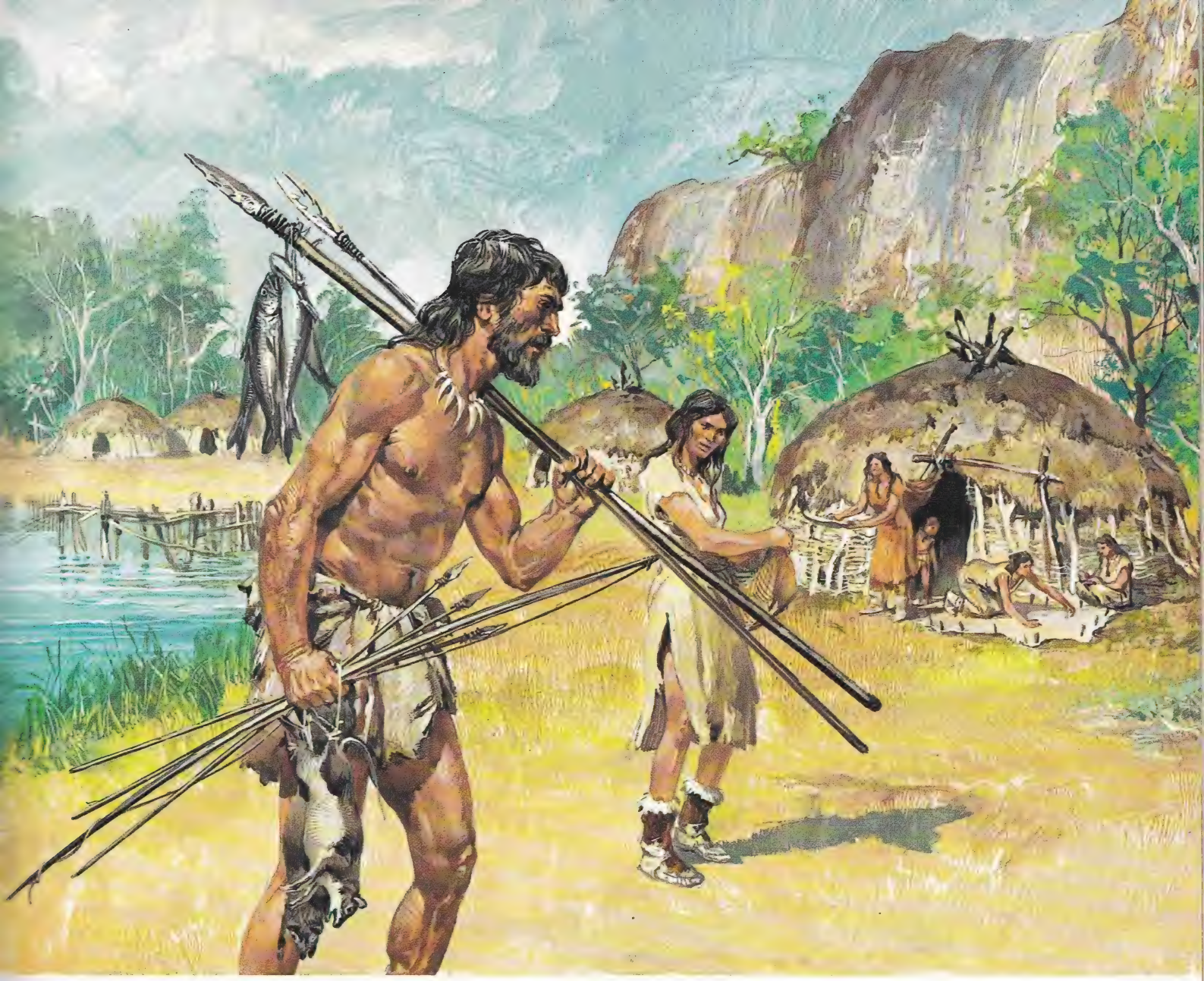
Auch die kulturellen Zusammenhänge bestätigen, daß im Mittelpunkt des menschlichen Interesses Nahrungsquellen standen, die so ungesichert waren, daß nicht einmal der Sympathiezauber eine ausreichende Versorgung garantieren konnte. Am Ende des oberen Paläolithikums ging die Höhlenmalerei tatsächlich zurück. Es wurden keine nennenswerten Kunstwerke mehr gefunden, die aus der Zeit nach dieser Periode stammten, wenn man einmal von bemalten Kieselsteinen, die mit Streifen aus rotem Ocker verziert waren, und einigen wenigen auf Stein gemalten Tierfiguren absieht.

Unten: Dänisches mesolithisches Skalpell, das in Küchenabfällen (Kökkenmöddinger) gefunden wurde.



Oben rechts: Im Mesolithikum begann der Mensch, weitere Nahrungsquellen zu erschließen, die ihm bis dahin unbekannt waren: Fische, Land- und Wasserschnecken, Muscheln, Vögel. Auch eßbare Pflanzen wurden immer häufiger gesammelt, und viele Hülsenfrüchte erschienen zum erstenmal auf der Speisekarte und ergänzten die bis dahin bekannten Grasarten. Neue Erfindungen wie die Mikrolithen bereicherten das Arsenal der Werkzeuge, Geräte und Waffen. Mikrolithen waren kleine Feuersteinstücke mit besonders scharfen, spitzen Kanten, die, in Knochen- oder Holzgriffe eingesetzt, wirkungsvolle Harpunen, Messer und sogar primitive Sicheln abgaben. Möglicherweise kannte der Mensch damals auch schon Pfeil und Bogen.

Dennoch wäre es eine grobe Vereinfachung zu behaupten, daß der Mensch jetzt aufhörte, sich mit Malerei und Schnitzerei zu beschäftigen, weil er vom Hunger geplagt wurde. Wir dürfen nicht die eigentliche Bedeutung der Malerei im oberen Paläolithikum vergessen, obwohl der Hunger bei dieser Umstellung gewiß eine wichtige Rolle spielte. Die Sackgasse, die durch das Aussterben mancher Tierarten und die starken Verluste bei den noch vorhandenen Herden entstand, zwang den Menschen, seine Vorstellungen zu überdenken. Er wandte sich von der Magie ab – von einem Mechanismus also, der auf eine indirekte Beeinflussung der Natur ausgerichtet war – und griff aktiv und direkt in das Naturgeschehen ein. Seine Haltung war bislang durch die Furcht vor dem Unbekannten bestimmt worden. Sie wurde jetzt realistischer: Der Mensch vergaß oder verdrängte die unsichtbare Welt, indem er sie von seinen tatsächlichen Erfahrungen trennte. Er entschied sich vielmehr, jetzt das zu tun, wozu er tatsächlich imstande war: seine Nahrung selbst herzustellen.



Die Periode, die dem Neolithikum voranging, wird als *Mesolithikum* (mittlere Steinzeit) bezeichnet. Dieser Zeitabschnitt war in den verschiedenen Erdteilen von unterschiedlicher Dauer. In Asien bestehen die einzigen Zeugnisse des Mesolithikums aus ein paar mageren „Industrien" für Tongefäße mit Spirallinienmustern. Sie werden der Frühzeit der japanischen *Dschomonkultur* zugeschrieben. In Afrika gibt es keine Spuren aus dem Mesolithikum. In Amerika, Europa und im Nahen Osten war dagegen das Mesolithikum von großer Bedeutung. In diesen Erdteilen leitete es die Entwicklung zum *Neolithikum (Jungsteinzeit)* ein.

Amerika

In Amerika endete das Wisconsin später als die entsprechende Würm-Vereisung in Europa. Daher existierten die amerikanischen paläolithischen Kulturen länger, und auch das Mesolithikum lief viel langsamer ab als in der Alten Welt. Außer der Tatsache, daß auch in Amerika viele Tierarten ausstarben, gab es keine ungewöhnlichen Veränderungen in

Rechte Seite: Während des Übergangs von Paläolithikum zum Mesolithikum gab es eine ökologische Krise. Obwohl das Klima milder wurde, verfügte der Mensch nun über weniger Nahrungsquellen, und die Suche nach Eßbarem gestaltete sich hart und ermüdend. Deshalb vertilgten die mesolithischen Völker alle Arten von Schnecken und kleine Tiere wie den Biber in großen Mengen. Ein großes Tier zu fangen, wie z. B. einen Elch, war ein so außergewöhnliches Ereignis, daß man sich noch lange daran erinnerte.

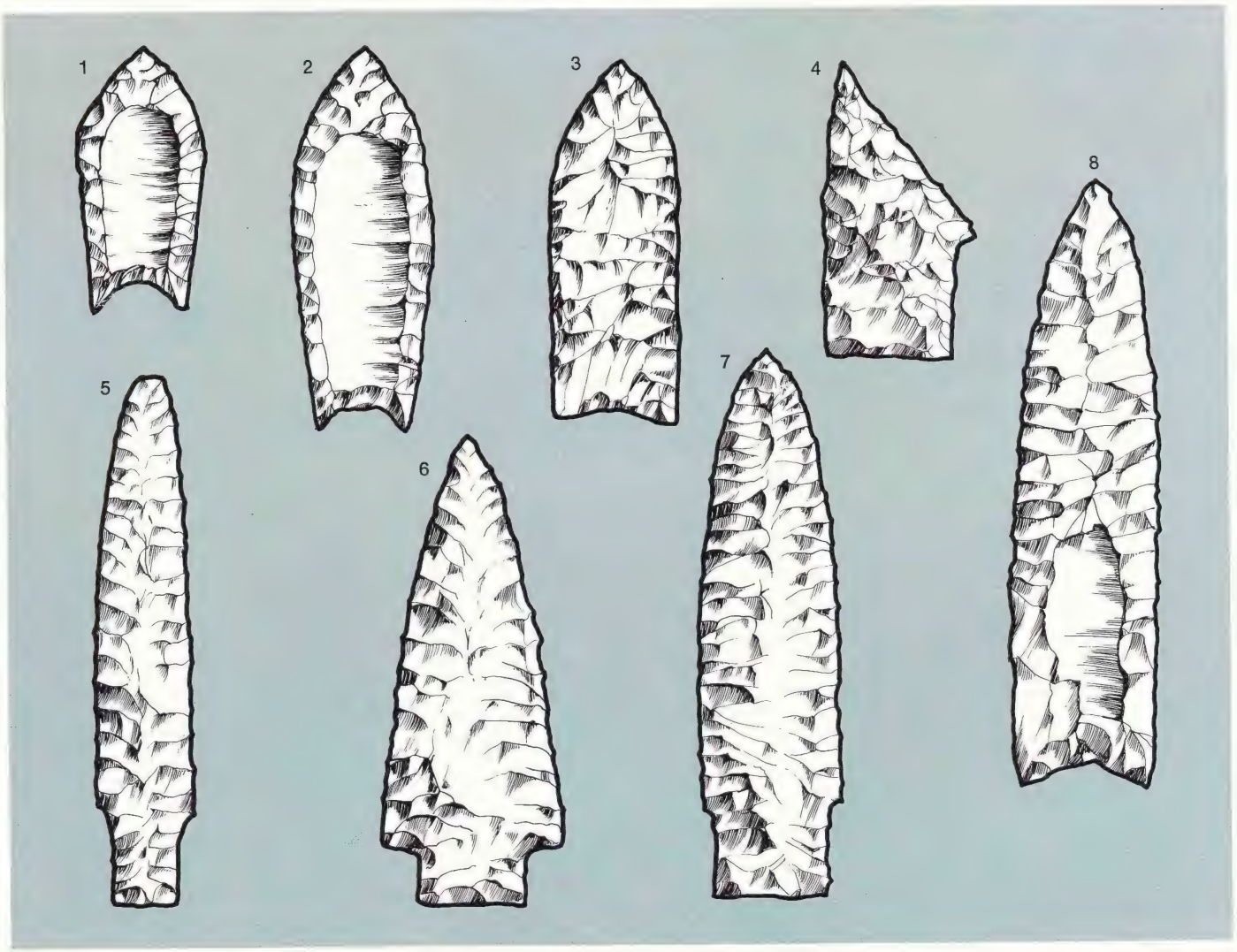
ökologischer Hinsicht; selbst das Klima besserte sich nur ganz allmählich – viel langsamer als in Europa.

Es gab mehrere „Industrie"erzeugnisse, die den Clovis- und Folsomspitzen ähnlich waren, darunter die *Plainview-, Cody-* und *Scottsbluffspitzen.*

Die Siedlungen, die zur Zeit der *Wüstenkultur (Desert Culture;* ab etwa 8000 v. Chr.) bestanden, scheinen bereits durch die notwendig gewordene Suche nach nahrhaften Pflanzen geprägt zu sein. Aus dieser Zeit stammen manche interessante Knochenbearbeitungen, einige Schleifsteine und allerhand Korbwaren. Auch Spuren von Gemischen aus Samen, Früchten (Eicheln, Pinienkerne) und Knollen, die heiß gegessen wurden, wurden gefunden. Außer freien Feuerstellen benutzte man auch erhitzte Steine als Wärmespender. Man kannte auch bereits das Braten und Räuchern von Fleisch, um diese haltbar zu machen. Eine der interessantesten Fundstellen der Wüstenkultur ist die *Danger Cave* bei Wendover in Westutah.

Die *Cochisekultur* entstand etwas später und wird durch Funde repräsentiert, die etwa auf die Zeit von 8375–6220 v. Chr. datiert werden

Unten: Die wichtigsten nordamerikanischen Kulturen werden durch die verschiedenen Formen der Speerspitzen gekennzeichnet. Abgebildet sind: 1, 2 Folsom; 3 Plainview; 4 Cody (Messer); 5 Eden; 6, 7 Scottsbluff; 8 Clovis.



können und zunächst in *Sulphur Springs* zum Vorschein kamen. In *Palmarito* (Niederkalifornien, Mexiko) entdeckte man einige interessante Felsmalerien (ein Hirschrennen), deren reale Zuordnung jedoch noch kontrovers ist. Sicher ist wohl nur, daß sie auf Grund des völligen Fehlens von Keramik dem späten Mesolithikum zuzuordnen sind.

In Argentinien und in angrenzenden Gebieten florierte die *Ayampitinkultur.* Sie breitete sich bis nach Bolivien, Ecuador und Venezuela aus. Spuren typischer „Muschelsammlerkulturen" fand man in Brasilien (wo die Muschelhaufen *Sambaquis* genannt werden) sowie in mehreren Gegenden an der Pazifikküste und in Niederkalifornien. In Nordchile bildeten sich seit 4000 v. Chr. *Fischerkulturen* heraus. Die frühesten unter ihnen sind durch Angelhaken aus Muschelschalen charakterisiert. Die Siedlungen waren dort nicht sehr groß. Die Spuren der Mahlzeiten ihrer ehemaligen Bewohner deuten auf eine Kost, die vorwiegend aus Seefischen bestand. Man fand auch einige interessante Töpfe und Mörser, die aus vulkanischem Gestein geformt waren, und eine sehr weit entwickelte Feuerstein„industrie".

Insgesamt scheint es auf amerikanischem Gebiet keinen zwingenden Grund für einen Übergang zum Ackerbau gegeben zu haben. Einerseits war die klimatisch bedingte ökologische Krise nicht ganz so tiefgreifend, da sie viel gleichmäßiger verlief; andererseits war der Boden in vielen Gegenden für den Ackerbau ganz einfach ungeeignet. Die Isolierung der nördlichen Gebiete wurde durch die außergewöhnliche Entfaltung der großen Kulturen in den Anden und in Mexiko kompensiert, die sich allerdings ihrerseits selbst isoliert vollzogen.

Bemalte Steine und Küchenabfälle

In Europa war alles ganz anders. Der Übergang von der Eiszeit zur nachfolgenden Warmzeit erfolgte abrupt. Dadurch wurde der Mensch, wie wir bereits bemerkten, um sich weiterhin ernähren zu können, gezwungen, eine andere Entwicklungsrichtung einzuschlagen.

Eine typische europäische Kultur des Mesolithikums war das *Azilien* (benannt nach Funden bei Le Mas d'Azil in Frankreich). Man fand bemalte Kieselsteine, die manchmal mit stilisierten menschlichen Figuren und eingeritzten Inschriften verziert waren, zusammen mit vielen Mikrolithen. Die Knochenbearbeitung brachte eine typische mit einem Loch am einen Ende versehene flache Harpune hervor.

Die wenigen Höhlen- oder Felsmalereien, die in Südspanien entdeckt wurden, gehören ebenfalls dem europäischen Mesolithikum an. In *Cueva de la Araña* bei Valencia zeigen die Wandgemälde Menschen, die verschiedenen Beschäftigungen nachgehen wie dem Nahrungsammeln oder der Jagd. Einer sucht z. B. Honig, manche Frauen tragen Körbe, andere tanzen. Die Jäger sind mit Pfeil und Bogen bewaffnet. Erheblich älter und „schöner" sind in diesem Sinne die Malereien aus der Höhle von *Lascaux* (Dordogne, Südfrankreich). Die Darstellungstechnik ist bei all diesen Malereien stärker vereinfachend. Man kann daraus in etwa folgern, daß der Mensch bei seinem Versuch, sich aus der Bindung an die Magie (die das Mesolithikum beherrschte) zu lösen, offenbar seine Kunstform ganz bewußt vereinfachte, und zwar unter Verzicht auf große Genauigkeit und realistische Wiedergabe.

Aus dieser Periode gibt es einige sehr interessante Begräbnisstätten. Besonders die *Ofnethöhlen* bei Nördlingen (bayrischer Teil Schwabens) müssen in diesem Zusammenhang erwähnt werden. Dort wurden zwei Gruben mit 33 Schädeln buchstäblich vollgestopft. Alle Schädel waren

Oben: Der Begräbnisplatz von Ofnet in Bayern stammt aus dem Mesolithikum. Zwei kleine Gruben wurden mit den Schädeln von Männern, Frauen und Kindern buchstäblich vollgestopft. Nach dem Zustand mehrerer Rückenwirbel zu urteilen, wurden alle diese Menschen geköpft.

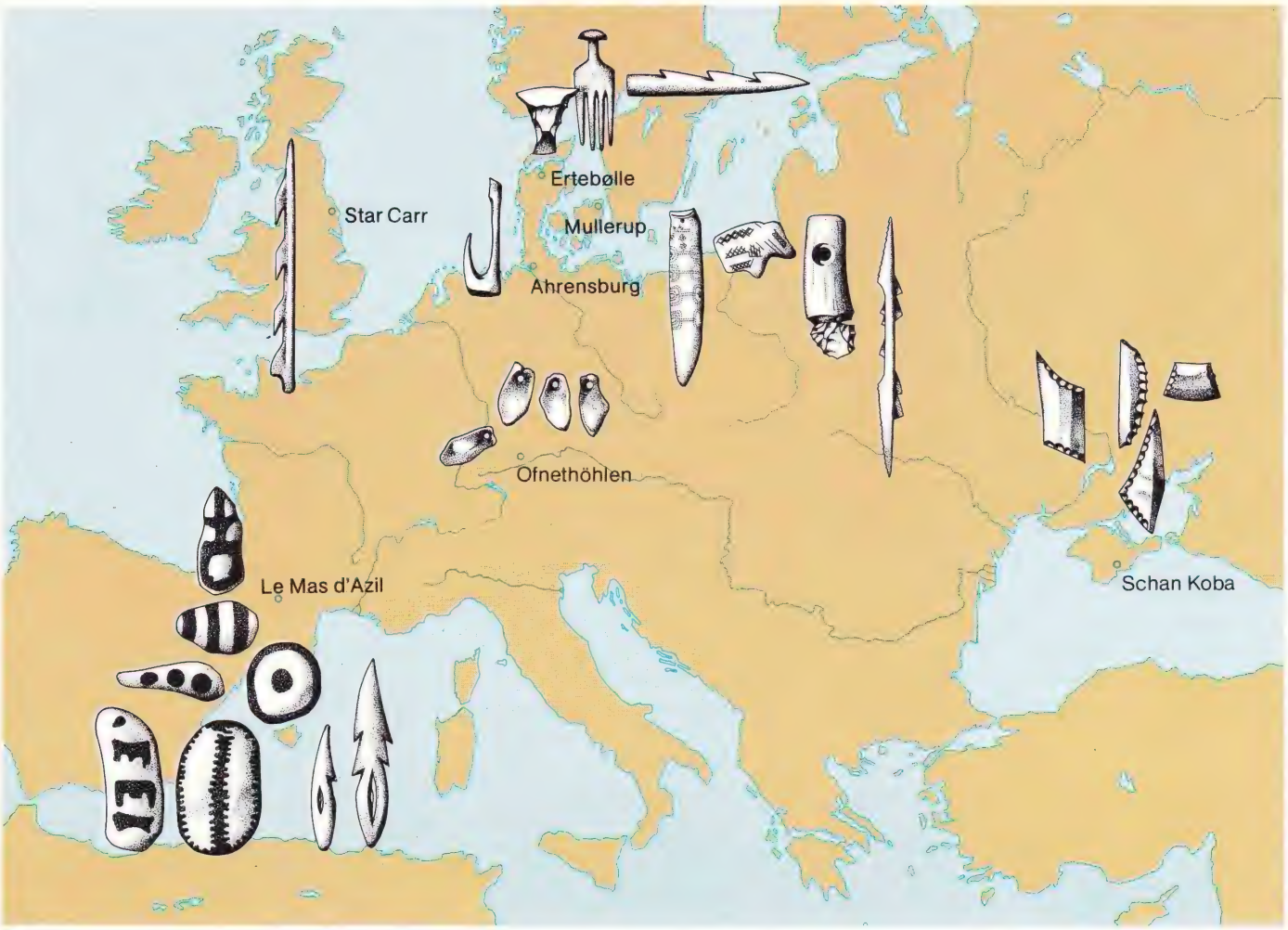
nach Westen ausgerichtet. Bei vielen der Schädel waren die Halswirbel gebrochen – eine Tatsache, die darauf hindeutet, daß die entsprechenden Individuen enthauptet worden waren. Die Gräber sind mit rotem Ocker gefüllt. Manche Schädel tragen „Kränze" aus durchbohrten Muscheln. – In der näheren und weiteren Umgebung von Hamburg fand man Überbleibsel der sog. *Ahrensburger Kulturgruppe* (nach Ahrensburg an der Elbmündung): typische mit Widerhaken versehene Harpunen aus Knochen und Beile aus Hirschgeweih.

Die Kultur von *Schan Koba* (einem russischen Dorf auf der Halbinsel Krim) ist durch einen Felsüberhang gekennzeichnet, unter dem azilienähnliche Werkzeuge gefunden wurden zusammen mit den Überresten von Höhlenlöwen, Riesenhirschen und Saigas. Das beweist, daß es in diesem verhältnismäßig isolierten Gebiet immer noch Tierarten aus dem Pleistozän gab.

Dem Azilien in Frankreich folgte das *Sauveterrien* (nach Sauveterre-la-Lémance in Südfrankreich). Hier gibt es Anzeichen von Mikrolithen. Außerdem wurden Überreste von Hirschen und Bibern gefunden sowie beträchtliche Haufen von Schneckengehäusen. In der Gegend um Paris verschmolz das Sauveterrien mit dem *Tardenoisien,* in dem es eine blühende Mikrolithenindustrie gab. Die Kultur des Tardenoisiens trat erst spät in Erscheinung (um 3000 v. Chr.), als in allen Nachbargegenden die „neolithische Revolution" bereits stattgefunden hatte.

Eine hervorragende Rolle kommt auch dem Mesolithikum der dänischen Halbinsel zu. In *Ertebølle* auf Jütland fand man wahre Muschelberge, die gewöhnlich als *Kökkenmöddinger* (Kjökkenmöddin-

Unten: Typisch für die Wandgemälde in manchen südspanischen Felshöhlen ist, daß der Mensch fast ausschließlich bei Tätigkeiten dargestellt wird, die mit der Besorgung von Nahrung zusammenhängen.



ger; wörtlich: „Küchenabfälle") bezeichnet werden. Die Menschen der *Erteböllekultur* lebten außer von Schnecken und Muscheln noch von der Jagd auf Hirsche, Eber und Wildziegen. Die Erteböllemikrolithen sind trapezförmig. Die Erteböllekultur währte bis 2000 v. Chr. Sie wurde von einer neolithischen Kultur abgelöst, die typische Töpfe mit spitzem Boden herstellte.

Der Fruchtbare Halbmond

In der Gegend, die die südlichen Küsten von Anatolien (der asiatische Teil der heutigen Türkei), die syrischen und palästinensischen Küsten bis zur Halbinsel Sinai und einen Landgürtel zwischen dem Mittelmeer und dem Persischen Golf, entlang dem Lauf der Flüsse Tigris und Euphrat, umfaßte, stellte das Mesolithikum ganz offensichtlich eine Brücke zwischen dem Paläolithikum und dem Neolithikum dar. Die Kultur dieses Gebiets ist unter dem Namen *Kultur des Fruchtbaren Halbmondes* bekannt; sie wird mit Recht als die Wiege aller westlichen Zivilisationen betrachtet.

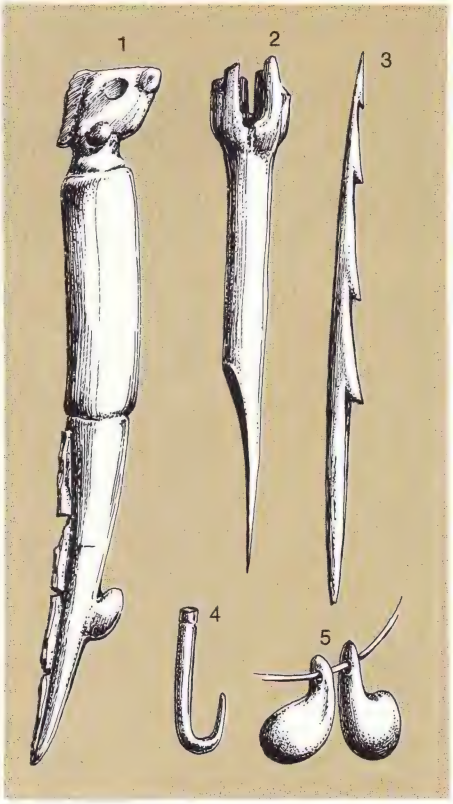
Eine Spezialität begegnet uns im sog. *Natufian* (ca. 9000–7000 v. Chr.), einer Kulturperiode, die ihren Namen nach einer Höhle im Wadi An Natuf trägt. Ein typisches Dorf dieser Kultur bestand aus kreisrunden Hütten (in Enyan gibt es 50 davon mit einem durchschnittlichen

Durchmesser der Hütte von 6–8 m). Offenbar waren damals bereits feste Wohnstätten erforderlich, so daß ständig bewohnte Siedlungen mit mehreren hundert Einwohnern entstanden. Der Grund für eine solche Entwicklung wird sofort erkennbar, wenn wir die Steinindustrie dieser Kultur und verschiedene Knochenartefakte untersuchen. Die Menschen des Natufians stellten echte Sicheln her, die sie benutzten, um wildwachsende Getreidearten zu schneiden. Die aus Mikrolithen bestehende Schneidkante der Sicheln war durch die ständige Berührung mit den zähen Fasern der Getreidehalme abgenutzt und glänzend. Es ist anzunehmen, daß man die Getreidekörner, zusammen mit anderen landwirtschaftlichen Erzeugnissen, in flachen Schächten aufbewahrte, die mit einer festen Schicht ausgekleidet waren: echte Silos der damaligen Zeit.

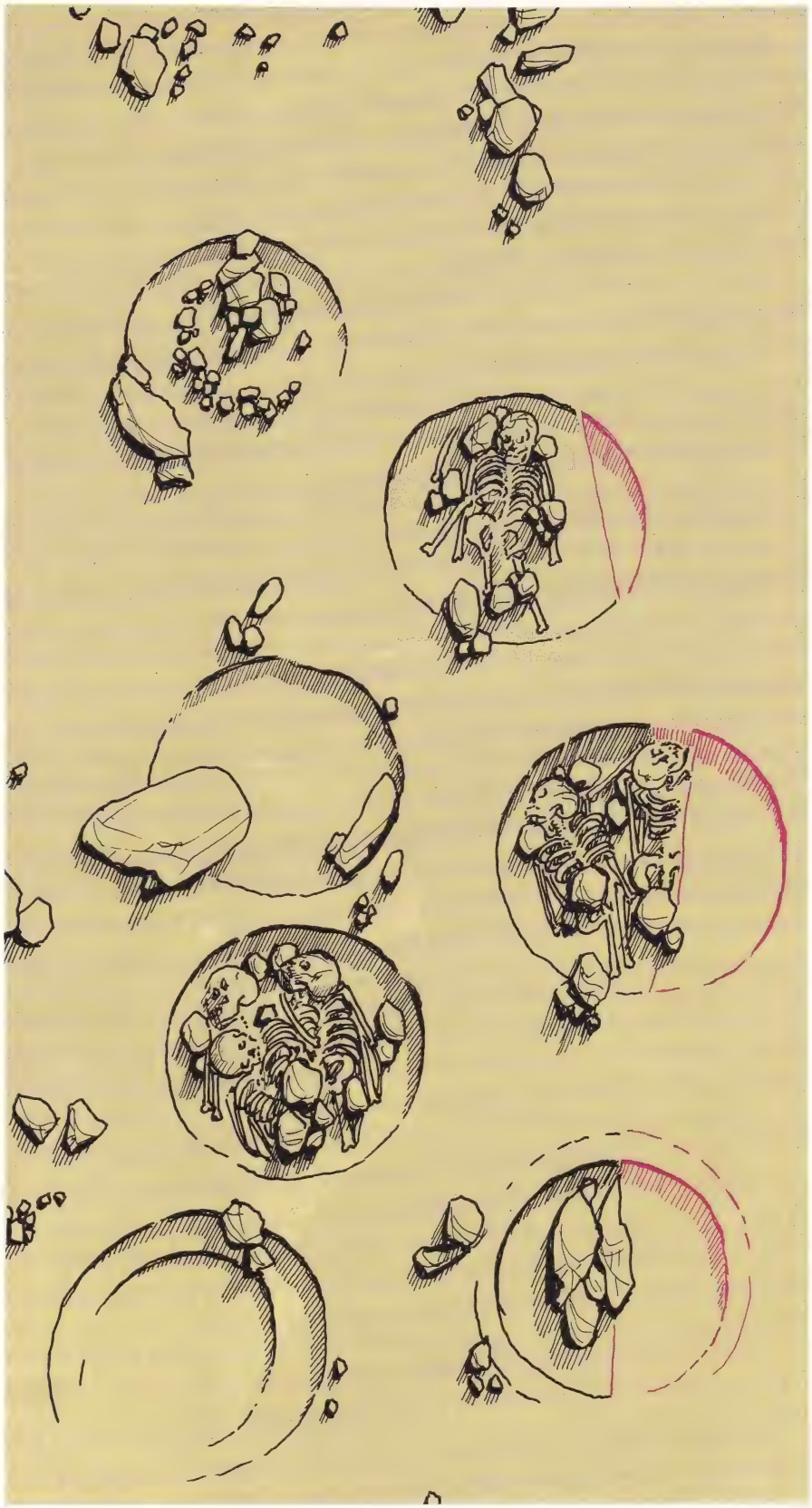
Die Steinbearbeitung des Natufians war sehr weit entwickelt. Unter den knöchernen Erzeugnissen sind Harpunen, Köderhaken und Ahlen zu nennen. Die Menschen betrieben bereits einen regelrechten Getreideanbau. Sie lebten außerdem von der Jagd auf Rotwild, Eber und Vögel. Ihre Pfeile trugen Spitzen mit einem kleinen „Kragen". In vielen Siedlungen lebten die Menschen hauptsächlich vom Fischfang und von eingesammelten Muscheln und anderen Schalenweichtieren. Die

Oben: In manchen mesolithischen Siedlungen finden wir gewaltige Berge von Weichtierschalen, z. B. von Muscheln (Kökkenmöddinger). Die Dörfer bestanden damals aus niedrigen Hütten, die durch Holzpfähle gestützt und mit Tierhäuten und Tierfellen bedeckt waren. Sie lagen entlang den Küsten oder an den Ufern von Flußmündungen. Die Menschen lebten hauptsächlich vom Fischfang.

Linke Seite: Die wichtigsten Wohngebiete des europäischen Mesolithikums: Le Mas d'Azil (Frankreich) mit den charakteristischen bemalten Kieselsteinen und den durchbohrten Harpunen aus Hirschgeweih; Star Carr (England), wo die Harpunen mit Mikrolithen beschlagen waren; Ertebølle (Dänemark) mit Köderhaken aus Knochen; Öfnet in Bayern mit Muschelanhängern; Ahrensburg mit gravierten Knochengegenständen, Harpunen und Mikrolithengeräten mit Knochengriff; Schan Koba (Krim) mit verschiedenen Mikrolithenformen.



Oben: Artefakte des mesolithischen Natufians in Palästina: 1 Sichel; 2 Bohrer; 3 Harpune; 4 Haken; 5 Glieder einer Halskette.



Rechts: Ruinen des Natufiandorfs in Eynan: kreisrunde Aushöhlungen im Gestein. Um jede von diesen wurden Wohnhütten von 6–8 m Durchmesser errichtet. Manche dieser Gruben wurden als Begräbnisplätze benutzt, manchmal für mehrere Menschen gleichzeitig.

Der Anbau eßbarer Pflanzen erfolgte erstmals in einem Gebiet, das Ägypten, Südanatolien, Syrien und einen großen Landstrich entlang den Flüssen Tigris und Euphrat umfaßte. In diesem „Fruchtbaren Halbmond" (dunkel eingezeichnet) brach vor rund 11 000 Jahren das Neolithikum an.

Wohnstätten befanden sich gleichfalls unter Felsüberhängen und in Höhlen. Die Siedlungen jedoch hatten immer die Form von kleinen, organisierten Dörfern. Die Herdsteine in den Hütten waren mit Steinen eingefaßt und lagen in einer Bodenvertiefung.

In der unmittelbaren Umgebung des Natufiandorfs befanden sich regelrechte Friedhöfe. Die einzelnen Gräber waren oftmals die letzte Ruhestätte für mehrere Menschen zugleich. Die Leichname wurden mit Steinplatten bedeckt und mit Grabbeigaben in Form von Zierat und allerlei Schmuckstücken bedacht.

Es gilt als sicher, daß im Natufian Hunde als Haustiere gehalten wurden. Nach den gefundenen Überresten zu urteilen, handelte es sich dabei um domestizierte Schakale und Moorhunde.

Die Tatsache, daß die Natufiansiedlungen in der Nähe von wasserführenden Wasserläufen angelegt waren, bedeutet wohl, daß die Bewässerung immer noch der Natur überlassen wurde. Die Lagerung von Getreidekörnern in wasserdichten Silos läßt vermuten, daß bereits eine bewußte Aussaat erfolgte.

In der ältesten Erdschicht von Jericho gibt es die Ruine eines ausgebrannten Gebäudes, die zur Kulturperiode des Natufians paßt. Vielleicht handelt es sich um eine ehemalige Kultstätte. Die Ruine konnte durch die C-14-Methode auf etwa 7800 v. Chr. datiert werden.

Vermutlich parallel zum Natufian entwickelte sich eine weitere Kultur im Fruchtbaren Halbmond: die *Heluankultur* (benannt nach der Stadt Hilwan bei Kairo). Jedenfalls gab es zwischen beiden Kulturen viele Berührungspunkte. Auch die Menschen der Heluankultur verfügten über eine gutgehende Mikrolithenindustrie, wenn es auch noch unklar ist, ob die Mikrolithen als Sicheln benutzt wurden. Die Siedlungen dieses Kulturbereichs zeigten jedenfalls einen Trend zum Ackerbau.

Ein weiteres wichtiges mesolithisches Kulturzentrum dieses Gebiets befand sich im heutigen Irak, unweit der großen Höhle von *Schanidar,* wo reichlich dokumentarische Belege über den Neandertaler und seine Lebensweise gefunden wurden. Hier gab es eine Gruppe von Hütten mit von Steinen umrahmten Feuerstellen und Silos. Ihre „Industrie" befaßte sich ebenfalls mit Mikrolithen und mit der Herstellung von Sicheln, mit denen nachweislich die Halme wildwachsender Getreidearten geschnitten wurden. Das wichtigste an dieser Siedlung (die auf ein Alter von 11 000 Jahren geschätzt wird) ist jedoch die Tatsache, daß sie domestizierte Schafe beherbergt hatte. Tatsächlich scheint die damalige „Wirtschaft" dort hauptsächlich auf der Schafzucht basiert zu haben.

Die mesolithischen Kulturen im Nahen Osten besaßen eine Reihe von Eigenschaften, die auf das heraufkommende Neolithikum hinwiesen. Im Fruchtbaren Halbmond führten die besonderen Klimabedingungen zu einer anderen Zwischenphase: Hier „erfand" der Mensch zuerst den Ackerbau und erst danach die Töpferei.

Beobachtungsturm (8 m im Durchmesser) der alten Stadtmauer von Jericho, der ersten Städtegründung überhaupt.

Die Produktion von Nahrungsmitteln

Das Leben in der Jungsteinzeit

Wir können jetzt durchaus sagen, daß der Mensch zu diesem Zeitpunkt die ökologische Krise, die mit dem Ende der Eiszeit verbunden war, überwunden hatte. Natürlich wurde der Entschluß des Menschen, seine Nahrung selbst zu erzeugen, in vielen Gegenden durch günstige Umweltbedingungen nachhaltig unterstützt. In anderen Gegenden, wo manche Kulturen ohne Kontakt nebeneinander existierten, wurde die Weiterentwicklung durch eine Art Trägheitsmoment verhindert. Die Unterscheidung zwischen einer paläolithischen Lebensweise im Sinne von Jagd auf Tiere und Sammeln von eßbaren Pflanzen und einer neolithischen Lebensweise, die sich auf das Produzieren von Nahrungsmitteln stützte, betraf früher oder später den ganzen Planeten. Die Länge der Übergangsperiode wurde mehr oder weniger durch die jeweilige Bodenbeschaffenheit bestimmt. Im allgemeinen fand der Übergang in das *Neolithikum (Jungsteinzeit)* vor rund 10 000 Jahren statt. In einigen Gegenden allerdings ist er auch heute noch nicht vollzogen, so daß dort im Grunde noch paläolithische Zustände herrschen. Das gilt z. B. für einige Gebiete im Bereich des Amazonas, für die Buschmänner der Kalahari in Südafrika und für manche Eingeborene in Inneraustralien, bei denen allen die Menschen ihren Lebensunterhalt nach wie vor von der Jagd und vom Sammeln eßbarer Pflanzen bestreiten.

Im Gebiet des Fruchtbaren Halbmonds lernten die Menschen schon früh, Getreidekörner eine bestimmte Zeitlang an einem sicheren Ort als Nahrungsvorrat für die schlechteren Jahreszeiten aufzubewahren. Irgendwann sind sie dann darauf gekommmen, durch das Aussäen einiger Körner die Anzahl der Pflanzen und damit die Körnerreserven zu vergrößern. Dabei wurden auf dem Weg über „Versuch und Irrtum" sicher nach und nach manche Getreidearten als weniger brauchbar von der Aussaat ausgeschieden.

Es ist unwahrscheinlich, daß es in diesen frühen Phasen des *Ackerbaus* schon eine systematische Bewässerung gab. Die Notwendigkeit, neuen Boden für neue Ernten zu gewinnen, wenn der Boden in einem bestimmten Gebiet erschöpft war, erklärt, warum Kulturen sich zu Beginn des Neolithikums schneller ausbreiteten. Sie erklärt damit

Gegenden, in denen auch heute noch primitive Völker nach Art der Altsteinzeitmenschen leben: 1 australische Ureinwohner; 2 Maoris Neuseelands; 3 Eingeborene der Salomoninseln; 4 die Kenyah auf Borneo; 5 mehrere Stämme, die im Kongobecken wohnen; 6 die Buschmänner Südafrikas; 7 die Wai-Wai auf Neuguinea; 8 indianische Stämme in Brasilien; 9, 10 Indios in Argentinien und Feuerland; 11 vereinzelte Bevölkerungsgruppen in Polynesien.

zugleich, warum die Geschichte des Menschen von diesem Zeitpunkt an nur noch in Jahrhunderten zu messen ist.

Bei den Völkerwanderungen der Jungsteinzeit ging es um die Aussiedlung ganzer Dörfer oder Gruppen von Hütten. Das reine Nomadenlager gab es nicht mehr. Einmal besiedelte Gebiete wurden in der Regel nicht mehr aufgegeben. Die dort lebenden Menschen weiteten ihren Einflußbereich vielmehr stetig aus. Diese ortsfesten Aussiedlungen standen über Karawanen und Händler, die Nahrungsmittel und andere Artikel von Ort zu Ort beförderten, in regelmäßiger Verbindung miteinander. So entstand im Neolithikum der *Handelsverkehr.*

Schon vor rund 9000 Jahren bauten die Menschen in *Jarmo* (Irak), *Ras Schamra* (an der syrischen Küste), *Hacılar* (Türkei) und *Jericho* Weizen und Gerste an. Sie backten Brot in Öfen und benutzten Behälter aus Stein, Holz und Tierhäuten für die Zubereitung von Suppen.

Die gefundenen Sicheln aus Horn, Holz und Feuerstein sowie einige Saatkörner, die erhalten sind, zeigen uns, daß damals schon Weizen und Gerste kultiviert wurden. Aus ursprünglich einer einzigen Wildpflanzenart hatte man den *Weizen* für den Anbau in eine ganze Reihe neuer Getreidearten „verwandelt": Ziemlich früh entstand vermutlich in Palästina der *Emmer* und wurde weiterentwickelt. Später wurde auch das sog. *Einkorn* herausgezüchtet, das während der Jungsteinzeit in Europa weit verbreitet war. Außerdem wurden *Dinkel* und *Zwergweizen*

angebaut. Zu guter Letzt, fast schon an der Schwelle zur geschichtlichen Epoche, erzüchtete der Mensch auch den *Saatweizen,* den „Vorfahren" aller modernen Weizensorten. Der Mensch veränderte so durch eine über viertausend Jahre hin praktizierte Folge von einfachen Kreuzungen und geduldigen Selektionen eine einzige Getreideart und veränderte damit letztlich zugleich das natürliche ökologische Gleichgewicht. Dieselbe Entwicklung vollzog sich bei der *Gerste.*

Man kann die verschiedenen Phasen solcher Entwicklungen im Bereich der Pflanzen und der Tiere anhand der gefundenen Überreste gut verfolgen. So haben z. B. die Samen der Hülsenfrüchtler (als Gemüsepflanzen) an Größe zugenommen. Bei manchen Früchten ist der Anteil des Fruchtfleischs größer geworden. Besonders auffallend sind die Veränderungen im Körperbau bei manchen domestizierten Tieren im Verhältnis zur Wildform und die Formenfülle heutiger Rassen (etwas des Haushundes). Der Mensch hat alle diese Arten verändert und umgestaltet, um sie seinen eigenen Bedürfnissen anzupassen.

Es gibt auch heute noch Stämme, die ihren Lebensunterhalt ausschließlich als „Jäger und Sammler" bestreiten. Auf dem Foto zwei australische Ureinwohner, die gerade zur Jagd aufbrechen.

Die älteste Stadt

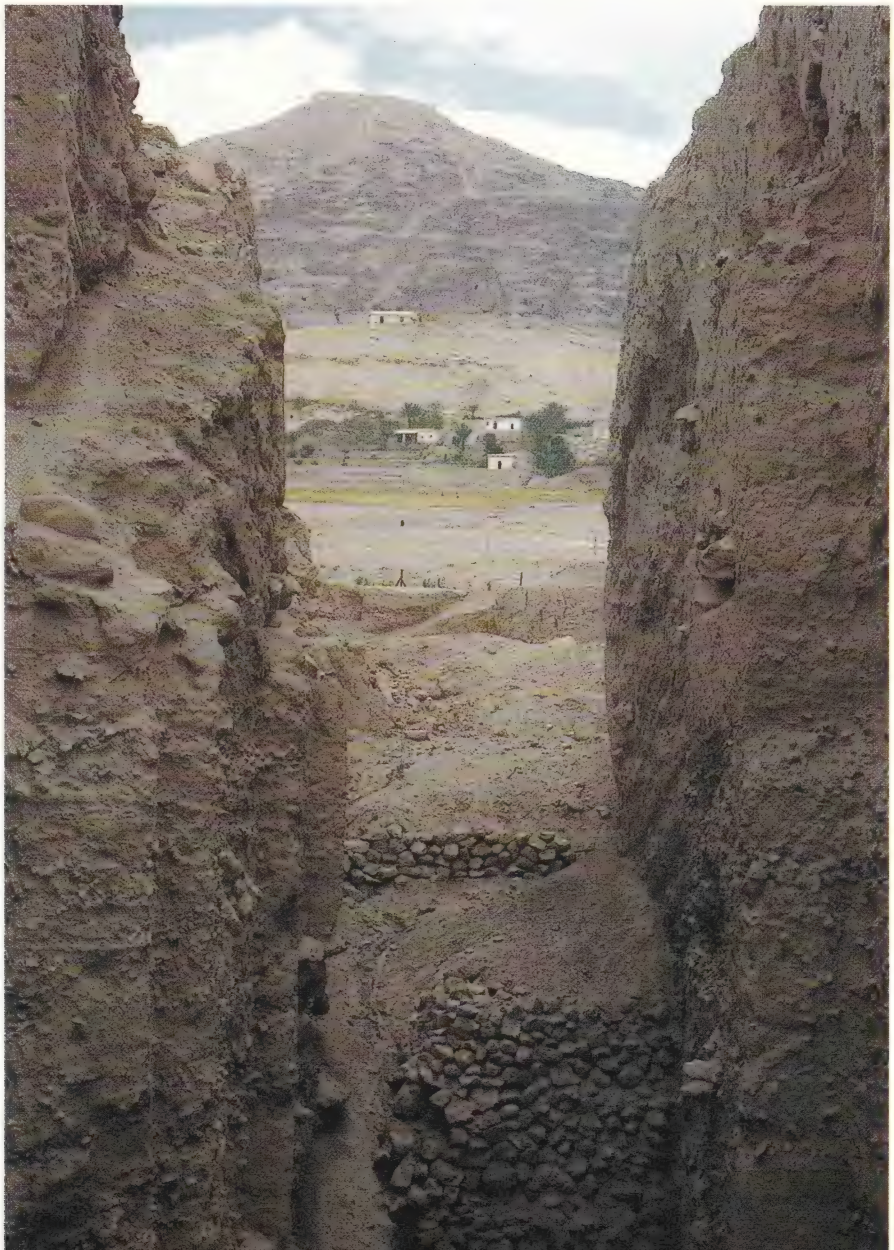
Als älteste Stadt der Erde gilt *Jericho,* das im 8./9. Jahrtausend vor Chr. gegründet wurde. Die auf der vorkeramischen Stufe des Neolithikums (um 6850 v. Chr.) dort vorherrschende Wirtschaftsform ist der Ackerbau. Eine systematische Viehzucht ist für diese Zeit nicht nachgewiesen. Die Wohnstätten bestanden aus kleinen, grob gebauten Lehmziegelhäusern, die sich über flachen Fundamenten erhoben und ein Dach aus weichem Lehm besaßen. Eine Schutzmauer aus Steinen schloß die Häuser ein. Die Schutzmauer war mit einer Reihe von Türmen bewehrt, von denen ein einziger volle 8 m breit war. Die Schutzmauer ihrerseits war von einem Graben umgeben.

Dieser ersten Phase der Entstehung Jerichos folgte eine weitere Phase der Verstädterung: Die Hauswände wurden dicker, die für die Konstruktion benutzten Steinquader größer, und die Häuser selbst wurden geräumiger. Sie waren zwar immer noch aus groben Backsteinen errichtet, aber diese wurden jetzt mit Lehm vermauert. Im Zentrum des Hauses gab es einen freien Innenhof, in dem sich der Herd befand.

Die Bestattungsriten in Jericho sahen unter anderem vor, daß der Schädel des Toten mit Kreide und Lehm hergerichtet wurde. Man wollte

Unten rechts: Ausgrabungen bei Jericho.

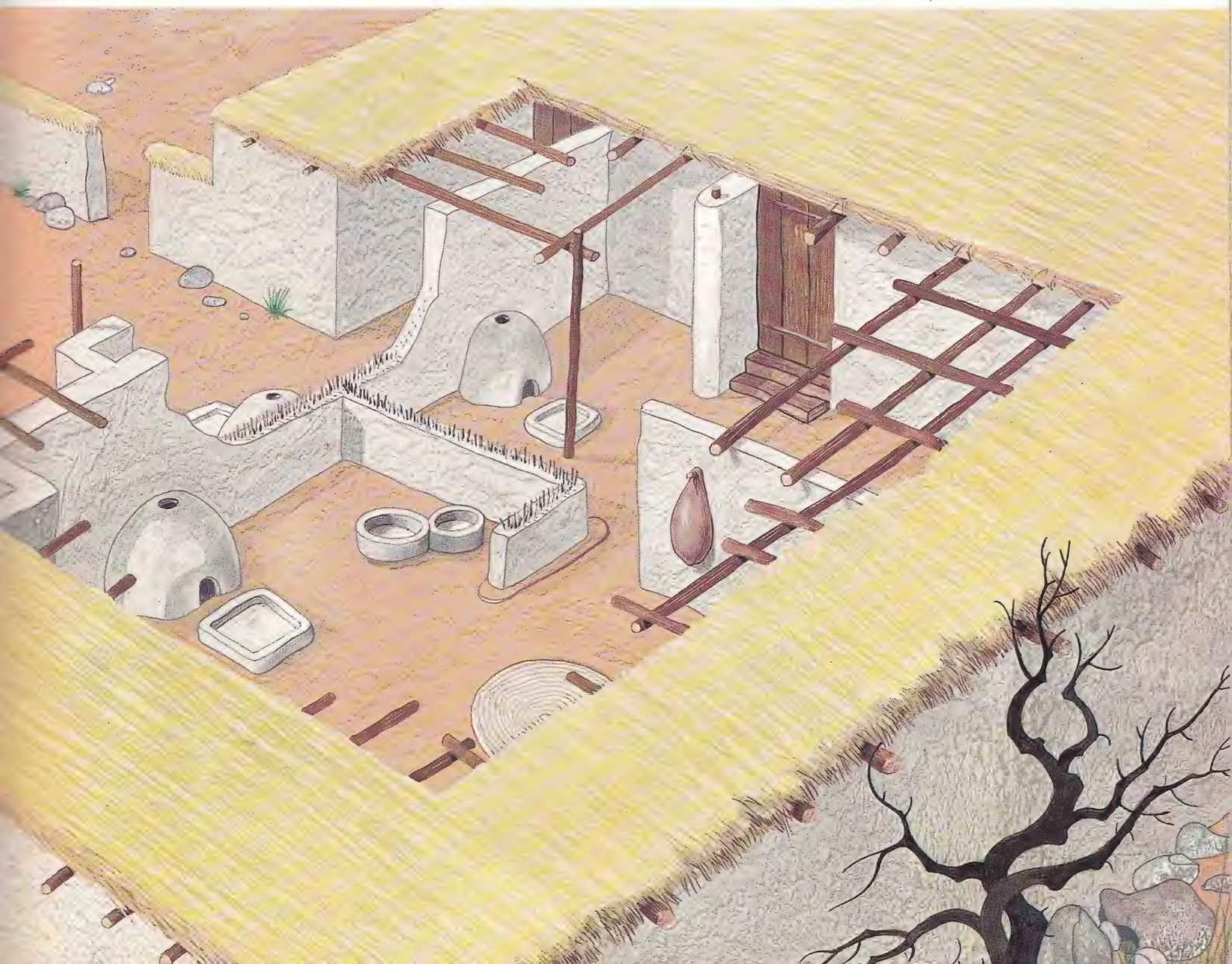
Unten links: Bestattungsbräuche in Jericho schrieben vor, daß der Schädel eines Verstorbenen mit Lehm bedeckt und mit Muscheln geschmückt wurde (insbesondere die Augenhöhlen).



den Verstorbenen so darstellen, wie er im Leben ausgesehen hatte. Manchmal fügte man kleine Muschelteile in die Augenhöhlen ein, um die Augen lebendig zu gestalten. Manche Archäologen glauben, daß diese Versuche, das Aussehen von Toten zu erhalten, darauf schließen lassen, daß der Schädel jeweils einem Anführer der Gemeinschaft oder einem seiner Vorfahren gehört habe. Andere wollen aus der Befestigung der Stadt die Vermutung herleiten, solche Schädel könnten Trophäen gewesen sein und von erschlagenen Feinden stammen.

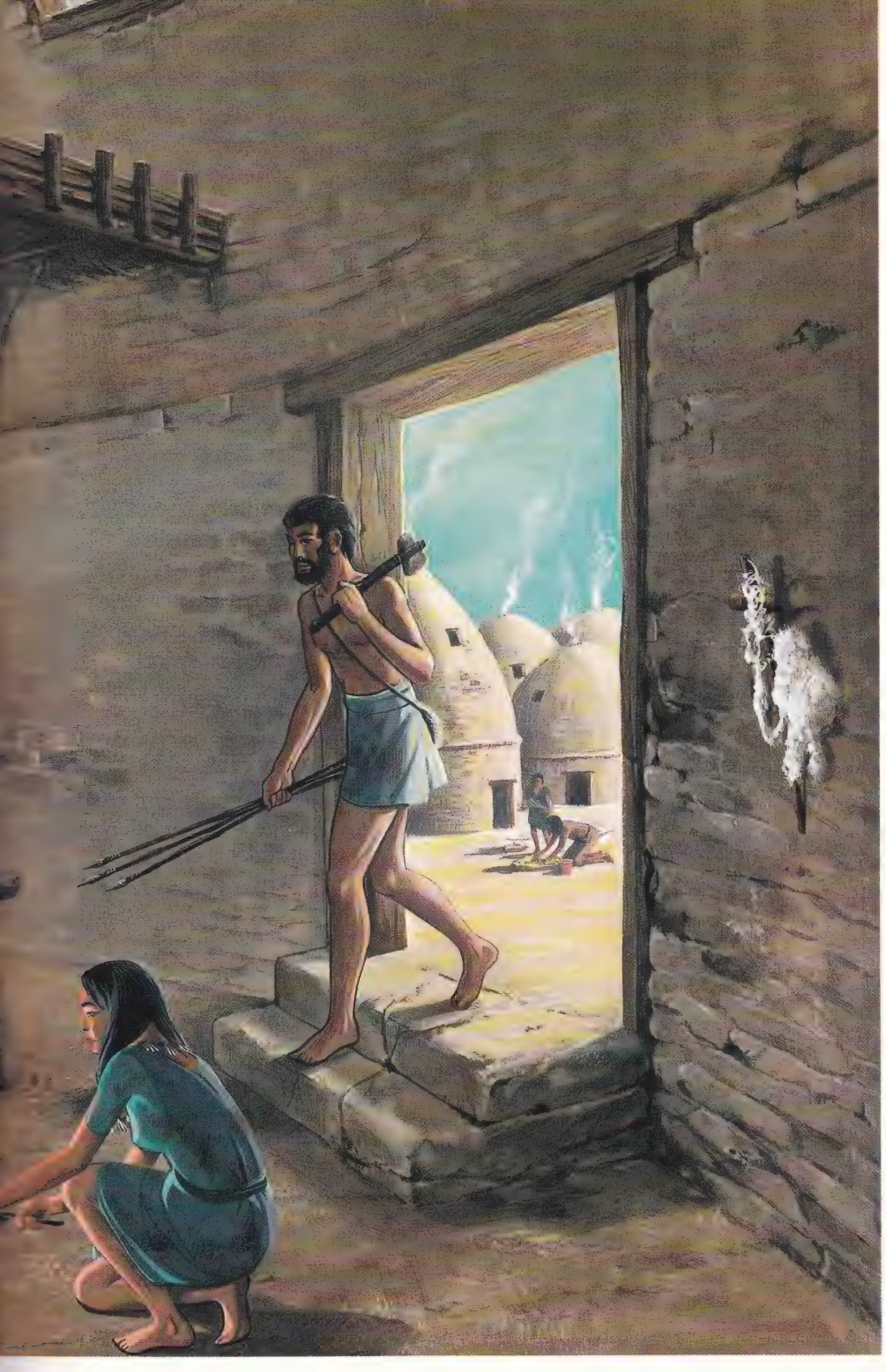
Die Siedlungsstruktur der anatolischen Stadt *Hacılar* (älteste Besiedlung im 8. Jahrtausend) entsprach derjenigen von Jericho; allerdings fehlten die Befestigungen. Auch hier waren die Häuser aus groben Lehmziegeln errichtet und hatten einen viereckigen Umriß. Es gab Getreideanbau (Weizen, Gerste) und Getreidespeicher. – Im ähnlich angelegten *Jarmo* (Irak) wurden kleine Tonfiguren, die Tiere (vorwiegend Schafe) und hockende Frauen darstellen, gefunden. Die dortige Stein„industrie" stellte ferner viele Mikrolithen aus Obsidian her. – In *Ras Schamra* (syrische Küste) wurden möglicherweise nicht nur Schafe und Schweine, sondern auch Rinder gezüchtet.

Rekonstruktion einer neolithischen Behausung in der Hacılarsiedlung (Ausschnitt). Die Wände waren aus Schilf und mit Gips übertüncht. Das Dach wurde von kräftigen Pfählen gestützt, die fest in den Boden eingerammt waren, und mit Stroh über einem Lattenwerk aus Holz abgedeckt. In manchen Häusern gab es tiefe Gruben, die mit Schilfmatten ausgeschlagen waren. Diese Gruben dienten als Silos für Getreide und Hülsenfrüchte. Die Feuerstelle hatte ein Steinfundament.



Zypern

Wenn Jericho die älteste Stadt der Welt ist, so war *Chirokitia* auf der Insel Zypern die größte Stadt der Frühgeschichte. Ihre Blütezeit lag nach allgemeiner Anschauung etwa in der Zeit von 5500 v. Chr. Sie bestand aus mehreren hundert Häusern und hatte vermutlich rund 1 000 Einwohner. Die Häuser waren kreisförmig gebaut: als runde Kuppel aus lehmverputzten Steinen, die auf einem Steinfundament ruhte. Unter den Haushaltsgegenständen befanden sich zahlreiche Steinteller und -behälter. Die Einwohner Chirokitias züchteten Schafe, Ziegen und viel-



In Chirokitia auf der Insel Zypern brach das neolithische Zeitalter früher an als in vielen anderen Orten. Hier verwendete man Lehm hauptsächlich zum Modellieren kleiner Götterstatuen (oben eine Fruchtbarkeitsgöttin; Louvre, Paris). – Die Stadt bestand aus rund tausend Häusern (links). Sie waren meist aus Stein gebaut und wahrscheinlich auch mit Gips verputzt. Drinnen gab es eine Art Dachboden, von zwei Säulen abgestützt. Hier schlief man auf Matten auf dem Fußboden. Der Herd mit seinem Steinfundament befand sich in der Mitte des Gebäudes; der Rauch konnte durch ein rundes Loch im Dach abziehen.

leicht auch Schweine. Funde von Spindeln deuten darauf hin, daß in Chirokitia auch Stoffe gewebt wurden. Zahlreiche kleine Stein- und Tonfiguren wurden ans Tageslicht gebracht, die sowohl männliche als auch weibliche Personen darstellen. Bemerkenswert sind ferner mancherlei Zierrat und Schmuckgegenstände, die gefunden wurden, darunter insbesondere eine Halskette aus Muschelschalen.

Diese große städtische Siedlung ist eines der ersten Beispiele für das Wachstumspotential, das eine seßhafte Lebensweise in sich birgt. An

Orten, die wie Chirokitia teilweise durch das Meer geschützt waren, schritt das Wachstum schneller und gleichmäßiger voran. Chirokitia war in Form einer gestreckten Linie angelegt, mit einer langen, mit Kopfsteinen gepflasterten Straße, die parallel zur eigentlichen Stadt, vom einen zum anderen Stadtende, verlief. An beiden Seiten dieser Straße standen Häuser. Sie lag etwas höher als die Stadt selbst und diente hauptsächlich dem Austrieb von Rinderherden. Auf diese Weise zog das Vieh nicht durch die Wohngebiete.

Die Entstehung der Töpferei

Es ist allgemein bekannt, von welch ungeheuerer Bedeutung für die ganze menschliche Entwicklung es war, daß der Mensch seine instinktive Angst vor dem Feuer überwand und dieses zu beherrschen lernte. Heute wissen wir, daß das Feuer in den menschlichen Wohnstätten ein ganz wesentlicher Faktor für den Übergang zum Neolithikum war.

Irgendwann machte man die Entdeckung – möglicherweise in mehreren Häusern gleichzeitig –, daß die Hitze, die von der Feuerstelle und den sie umgebenden Steinen ausging, sich über den ganzen mit Lehm bedeckten Boden ausbreitete. Der Lehm sollte den Boden wasserdicht machen, und die Hitze wiederum härtete den Lehm. Als der Mensch erkannte, daß der Lehm, der der Feuerstelle am nächsten lag, gebrannt wurde, kam ihm der Gedanke, diesen Prozeß auch für andere Zwecke zu wiederholen: Zunächst stellte man durch das Brennen von Lehm kleine Tontafeln und Ziegelsteine her. Dann begann der Mensch, den in Hülle und Fülle vorhandenen Lehm, den er schon so lange geformt hatte und jetzt verfestigen und wasserdicht machen konnte, in größerem Stil nutzbringend zu verwerten. Er stellte die ersten Gefäße her. Auf diese Weise, rein zufällig, begann die Geschichte der *Töpferei,* wobei gewiß der Herd den ersten Brennofen darstellte. Wenn der Mensch Ton brennen wollte, legte er ihn also zwischen die Steine, die die Feuerstelle umgaben, ganz in die Nähe der steinernen Nahrungsbehälter, die zu dieser Zeit allmählich „unmodern" wurden.

Die ewige Neugier des Menschen, sein Drang, alles anzufassen und auszuprobieren, die Möglichkeit, etwas formen und gestalten zu können: all das führte dazu, daß der Mensch eine besondere Vorliebe für die Töpferei entwickelte. Ausschlaggebend war nicht zuletzt die Tatsache, daß man Gefäßen eine Hohlform geben konnte, ohne daß ein vorausgehendes längeres Abschleifen nötig war.

Die praktische Zielsetzung beflügelte die Phantasie des Menschen. Die Verzierungen an den Tongegenständen scheinen dabei keine magische Bedeutung gehabt zu haben, da die Muster, die am häufigsten vorkamen, keine Beziehung zur realen Umwelt erkennen lassen. Eine neue Form entstand – ein Festkörper von kreisrundem Querschnitt. Die einfache Symmetrie, die die Form der bestbearbeiteten Faustkeile und Spitzen bestimmt hatte, wurde in einer stets identischen Symmetrie bei Töpfen und Vasen wiederholt.

Die Töpferei wurde zunächst ohne Töpferscheibe betrieben. Bruchstücke der ersten gefundenen Tongefäße zeigen ganz deutlich, daß diese mit der Hand geformt und bestenfalls auf der Außenseite mit einem Holz- oder Knochenstab geglättet wurden. Sie wurden mit Ocker verziert, den man wahrscheinlich auftrug, bevor das Gefäß gebrannt wurde. Einritzungen und Markierungen entstanden durch die Fingernägel des Töpfers oder durch diverse Gegenstände wie Muschelschalen oder Schnüre.

Die „Erfindung" der Keramik hatte wahrscheinlich einen ganz alltäglichen Ursprung: Die Männer – oder besser noch: die Frauen – saßen um den Herd und mischten Lehm; dabei muß ihnen irgendwann bewußt geworden sein, daß dieser Lehm anschließend in der Hitze hart wurde.

Im Nahen Osten wurde ziemlich bald eine *Drehscheibe* entwickelt: eine Art ausgehöhlter Teller, in dessen Mitte die Tonmasse gelegt wurde. Der „Teller", der häufig aus Holz war, ruhte auf dem Fußboden und wurde mit der einen Hand gedreht. Mit der anderen Hand gab der Töpfer dem zu formenden Gefäß seine gleichmäßige Form und den letzten Schliff. Die Scheibe wurde lediglich für die letzte Phase des Arbeitsvorgangs gebraucht, wenn das Gefäß mit der Hand vorgeformt war. Es gibt keine direkten Beweise dafür, daß man vor 4 000 v. Chr. eine Drehscheibe mit Drehzapfen benutzte, der durchgehende, aber nicht immer regelmäßige Streifen innerhalb des Gefäßes hinterließ.

Linke Seite: Um ein Tongefäß zu formen, muß man mit den Daumen eine Lehmmasse bearbeiten oder auch einen langen „Wulst" formen, der dann zu spiralig übereinanderliegenden Ringen gewunden wird. Bei einer solchen Arbeitsmethode wird keine Töpferscheibe benötigt; Gefäße, die auf diese Weise gearbeitet werden, sind niemals vollkommen kreisrund. Gelungenere Formen und dünnere Gefäßwände sind nur mit Hilfe einer Drehscheibe möglich. Es gibt außerdem die sog. Tournette, die aus zwei Holzscheiben besteht, die in zwei verschiedenen Ebenen übereinandergelagert sind. In der Mitte der einen Scheibe befindet sich ein langer Stiel, der in das Loch in der Mitte der anderen Scheibe paßt. Auch die Tournette wird mit der Hand betrieben. Schließlich gibt es noch die echte Töpferscheibe mit Fußantrieb. Zu diesem Gerät gehören eine lange Spindel und eine tief angesetzte Scheibe, die mit dem Fuß bedient wird. Die beiden letztgenannten Gerätetypen haben sich erst in relativ neuerer Zeit überall durchgesetzt.

Links oben: Die Sasso-Fiorano-Kultur (nach zwei Orten im mittleren Süden Italiens benannt) ist durch einen grobkörnigen Lehm gekennzeichnet, aus dem besonders schwere Keramik hergestellt wurde. Im frühen Neolithikum waren Gefäße aus diesem Material weit verbreitet.

Links unten: Ein neolithischer Mühlstein aus einer Höhle in der Nähe von Genua, Italien.

Die ältesten Gefäße oder Töpfe wurden hergestellt, indem man den Daumen in einen sich drehenden Lehmklumpen hineindrückte, bis die dadurch immer dünner werdende Wandschicht die gewünschte Form erkennen ließ. Schon zu Beginn dieser neuen Tätigkeit erkannte der Mensch, daß der Lehm an Festigkeit gewann, wenn er ihm bestimmte Zutaten beimengte. Auf diese Weise gelang es ihm, größere Gefäße herzustellen. Der verwendete Lehm wurde durch Auswaschen in einer Reihe von schräggehaltenen Schalen von Erdbeimengungen gereinigt und in Binsensieben aufgefangen. Die fertig geformten Gefäße wurden in nasse Lappen eingewickelt, die auch zum Glätten oder beim

Oben links: Zwei neolithische Äxte.

Oben rechts: Die Verzierung von Tongefäßen im Spätneolithikum entstand aus einer Mischung von künstlerischem Entwurf und spontaner Phantasie. Die Aufnahme zeigt das Fragment eines Gefäßes aus vielfarbiger Terrakotta, das in einem fernöstlichen Ort auf dem Gebiet der UdSSR gefunden wurde.

Zusammensetzen einzelner Tonstücke verwendet wurden. Manchmal sind noch Spuren des groben Stoffs erkennbar. Größere Gefäße wurden vermutlich stufenweise hergestellt: zuerst der „Gefäßkörper", danach der Boden und schließlich der Gefäßhals. Die Einzelteile wurden dann zusammengesetzt und als Ganzes gebrannt.

Bald schon formte der Mensch Gefäße, die Tierköpfen ähnelten oder dem menschlichen Körper nachgestaltet waren. Hierin und in den vielfach aufgetragenen Verzierungen sind sicher die Reste magischer Elemente erkennbar, die allerdings von den praktischen Absichten des Handwerkers überlagert werden.

Die „Erfindung" der Töpferei wäre ohne das Seßhaftwerden von Gemeinschaften in Hütten, die mit einem Herd ausgestattet waren, niemals möglich gewesen. Obwohl es auch schon in der Vergangenheit eine Arbeitsteilung zwischen den Geschlechtern gegeben hatte, wurde diese Praxis im Neolithikum „festgeschrieben". Es war vermutlich die Frau, die zuerst entdeckte, wie der Lehm in der Nähe des Herdes zu gebranntem Ton wurde. Sie formte die Teller und brannte sie, während die Männer auf den Feldern arbeiteten oder das Vieh hüteten. Herd und Hütte wurden zur Werkstätte, wo grobes Geschirr hergestellt wurde. Später, als die Produktion gesteigert wurde, baute man ganze Gebäude zu Brennöfen um.

Die Ausbreitung der Töpferei

Südanatolien

Die erste jungsteinzeitliche Stadt war *Çatal Hüyük,* rund 50 km südöstlich von Konya in der Türkei. Die Häuser waren jetzt zweistöckig und waren wahrscheinlich auf Terrassen erbaut, die miteinander verbunden waren, so daß die Einwohner leicht von einem Gebäude zum nächsten gelangen konnten. Der Hauptraum des Hauses lag im Erdgeschoß; man erreichte ihn über eine Holztreppe. Im Hauptraum befand sich auch der Herd. Der ganze untere Teil des Hauses bestand aus groben Lehmziegeln, während der obere Teil aus Holz gezimmert war. Als Betten benutzte man kleine Erdhügel, die mit Holzpfählen umfriedet waren. Jeder Haushalt verfügte über geräumige Lagerräume, in denen Nahrungsvorräte, besonders Getreide, aufbewahrt wurden.

Manche Gebäude dienten offenbar als heilige Stätten. In ihnen waren die Innenwände mehrfach übertüncht und mit verschiedenen symbolischen Darstellungen bemalt, häufig waren sie auch mit Flachreliefs aus Terrakotta geschmückt. Die Heiligtümer wiesen ferner viele kleine weibliche Steinfiguren auf: manchmal ein junges Mädchen, manchmal eine gebärende Frau oder eine alte Frau mit einem falkenähnlichen Vogel. Möglicherweise verkörperten diese Figuren die verschiedenen Aspekte einer Göttin. In Räumen, die vermutlich als Vorratskammern dienten (gelegentlich auch an deren Eingang), fand man Figuren aus ungebranntem Ton. Sie stellten Menschen und Tiere dar und waren wahrscheinlich als Opfergaben gedacht.

Während der allgemeine Aufbau der Häuser ein familiäres Zusammenleben erkennen läßt, scheinen die Heiligtümer von ausgewählten Personen unterhalten worden zu sein. Die geweihte Höhle, wo alle Eingeweihten den Riten beiwohnen konnten, gab es nicht mehr. An ihre Stelle war ein Gebäude getreten, das von bestimmten Personen „betreut" werden mußte. In Çatal Hüyük war also möglicherweise der Zauberer bereits durch einen echten Priester ersetzt.

Die Tierhaltung war auf Schafe und Hunde beschränkt, dagegen stand der Ackerbau in voller Blüte; er erstreckte sich auf viele Pflanzenarten, v. a. Gerste, Weizen und Erbsen. Gleichzeitig sammelte man Rapssamen (aus denen in Steinmörsern Öl ausgepreßt wurde) und

Mandeln. Auch die Jagd spielte noch immer eine große Rolle. Die meisten Knochenfunde konnten Wildrindern, Wildeseln und Hirschen zugeordnet werden. Außerdem jagte man die einheimischen Raubtiere wie den Wolf und den Leoparden, um die Herden und die Stadtbewohner vor ihnen zu schützen.

Von 5900 v. Chr. an wurde immer mehr Terrakottaware hergestellt. Das beweisen die zahlreichen Bruchstücke unbemalter Vasen. Das dazu verwendete Material war ziemlich fein. Die Oberfläche der Vasen zeigt eine typische bräunliche Farbe.

Die Notwendigkeit, immer mehr Land für den Ackerbau zu erschließen, führte dazu, daß sich die neolithische Revolution auf immer weitere Gebiete ausdehnte. Die bewohnten Gegenden lagen z. T. weit auseinander, standen jedoch des Handels wegen miteinander in Kontakt. Der Handel spielte sich zunächst nur im Bereich unmittelbar benachbarter Gebiete ab. Später verband er auch weit auseinanderliegende Regionen und breitete sich schließlich auch übers Meer hinweg aus.

Entlang den Handelsstraßen des Neolithikums breitete sich auch die Töpferei aus. Spuren der gehandelten Töpfereierzeugnisse besitzen wir in großer Zahl, während wir bezüglich der übrigen Handelsobjekte auf Hypothesen angewiesen sind. Wir sollten uns gleichwohl an die

Ausgrabungen bei Çatal Hüyük legten eine der ältesten „Städte" der Menschheit mit recht eindrucksvollen Mauern frei.

Handelsstraßen halten, besonders dann, wenn auch Haustierarten im Spiel sind. Ihre Spuren sind trotz des großen zeitlichen Abstandes gut erhalten und im allgemeinen aussagekräftig.

Im allgemeinen hatten die Eingriffe des Menschen in das ökologische Gleichgewicht seiner Umwelt, wenn er nämlich bestimmte Pflanzen oder Tiere für seine Zwecke, für Anbau bzw. Aufzucht, anderen Pflanzen bzw. Tieren vorzog, für die Gegend, in der das geschah, keine gravierenden Folgen. Der Veränderungsprozeß geht nur langsam und schrittweise vonstatten. Es ist wahr: Weizen oder Gerste wurden dem „Unkraut", der Hund wurde dem Schakal vorgezogen. Es ist aber ebenso richtig, daß in der relativ langen Zeit, die diese Arten benötigten, um domestiziert zu werden, die anderen Arten Gelegenheit genug hatten, sich in dieser oder jener Weise zu schützen; in den meisten Fällen nahmen sie allerdings zahlenmäßig ab, ohne jedoch auszusterben.

Ägypten und der Mittelmeerraum

Ein sehr schönes Beispiel für das Neolithikum *Ägyptens* finden wir in der Senke von *Al Faijum.* Die dort freigelegten Siedlungen konnten mit Hilfe der C-14-Methode auf etwa 4300 v. Chr. datiert werden. Es gab hier eine florierende Steinindustrie, die Hand in Hand mit einer ziemlich einfachen

Tongefäß der Ripolikultur. Diese Art von bemalter Keramik findet man in mehreren Orten der italienischen Halbinsel. Sie hat Ähnlichkeit mit der Keramik der Danilokultur Dalmatiens.

Rechte Seite: Die Verbindung von Viehzucht und Ackerbau und die Beachtung des Zyklus der Jahreszeiten halfen dem Steinzeitmenschen, die Hungernsnot zu bannen. Bei der Ernte verwendete er Sicheln aus Mikrolithen, die in einen Holz- oder Knochengriff eingesetzt und mit Pech oder Tannenharz festgeklebt wurden.

Töpfereiproduktion ging. Alle Siedlungen besaßen schöne, in den Erdboden gebaute Silos, deren Wände mit übertünchten Schilfmatten ausgeschlagen waren. Angebaut wurden Weizen, Gerste und Flachs. Die Viehhaltung erstreckte sich auf Rinder, Schweine und Schafe. In der Umgebung jagte man den Elefanten, das Krokodil und das Nilpferd.

Trotz ihrer einfachen Form war die *Faijumkultur* eigentlich schon mit allen wesentlichen Bestandteilen der geschichtlichen Zivilisation Ägyptens ausgestattet. Indem sie diese Tatsache betonen und auf das relativ späte Auftauchen von Metall in diesem Gebiet hinweisen, behaupten manche Wissenschaftler, die ägyptische Zivilisation sei nichts weiter als eine neolithische Hypertrophie gewesen.

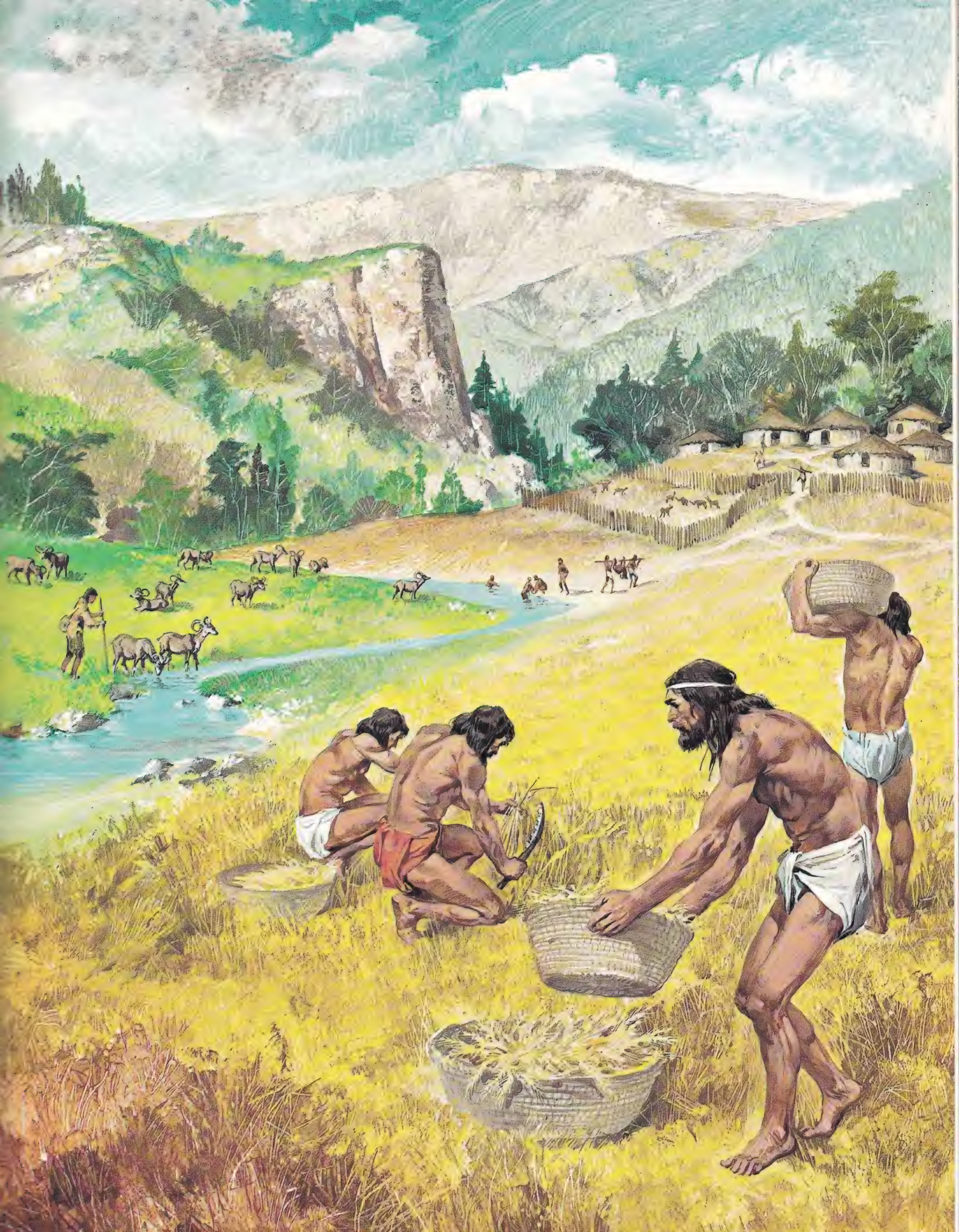
Bezeichnend ist die Verbindung von Wasser und Ackerbau: Teile der Senke von Al Faijum wurden in regelmäßigen Abständen vom Nil überschwemmt; wenn das Wasser dann wieder zurückging, hinterließ es überall eine Schlammschicht, die den Boden immer wieder neu anreicherte. Die regelmäßigen Überschwemmungen und der zurückbleibende fruchtbare Schlick waren zuverlässige Garanten für das Gedeihen der Wirtschaft im Ägypten der Pharaonen.

Entlang der Mittelmeerküste Afrikas verschmolz die Kultur des späten *Capsien* mit einer anderen Kultur, die ebenfalls die Töpferei kannte und sich von Ägypten aus in Richtung auf Gibraltar ausbreitete. Von der Mittelmeerküste aus erreichte der Kulturstrom Malta und Sizilien. Typisch für diesen Kulturzweig, der durch die Schiffahrt an verschiedene Küstengebiete von Frankreich und Italien gelangte, war die sog. *Cardiumkeramik,* die ihren Namen nach den Abdrücken von Herzmuscheln der Gattung Cardium auf den Gefäßen trägt. Mit Hilfe dieser Technik wurden die Gefäße von einer Reihe von normalerweise gezackten Bögen umringt. In anderen Fällen entstanden die Abdrücke mit Hilfe der Fingernägel.

Unten: Detailansicht der Çatal-Hüyük-Mauern, die die neolithische Bautechnik veranschaulicht: grobe Bausteine, die aufeinandergelegt wurden. Häufig wurden diese Mauern mit Gips beschichtet und a fresco bemalt.

Europäische Kulturzentren

Ein anderer Zweig des Kulturstroms erreichte über Gibraltar das Gebiet des heutigen Spaniens. Von dort aus wurde die ganze Iberische Halbinsel (mit *Almería* als kulturellem Mittelpunkt), Frankreich und die Poebene in Norditalien mit einer bereits höchst abwechslungsreichen



Unten rechts: Bei den ersten mit Dekorationen versehenen Keramiken entstanden die „Muster" dadurch, daß man eine Serie von Zickzacklinien in den noch weichen Lehm einritzte. Zu diesem Zweck benutzte man u. a. die Kanten von Muschelschalen oder Haifischzähne. – Oben: Muschel mit etwas beschädigter Kante, in die ein Feuersteinmesser eingeführt wurde, um die Muschel aufzubrechen. Unten: Töpfe, die in Spanien und Frankreich gefunden wurden.

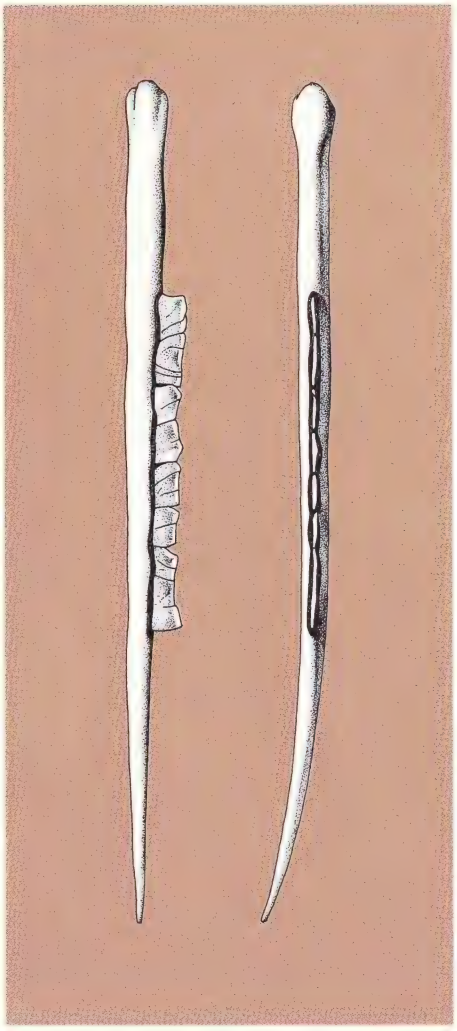
Gefäßtypologie überzogen. Namengebende Orte waren außer dem bereits erwähnten Almería *Camp-de-Chassey* (Departement Saône-et-Loire, Frankreich), *Lagozza di Besnate* bei Varese (Italien) und *Cortaillod* bei Neuenburg in der Schweiz.

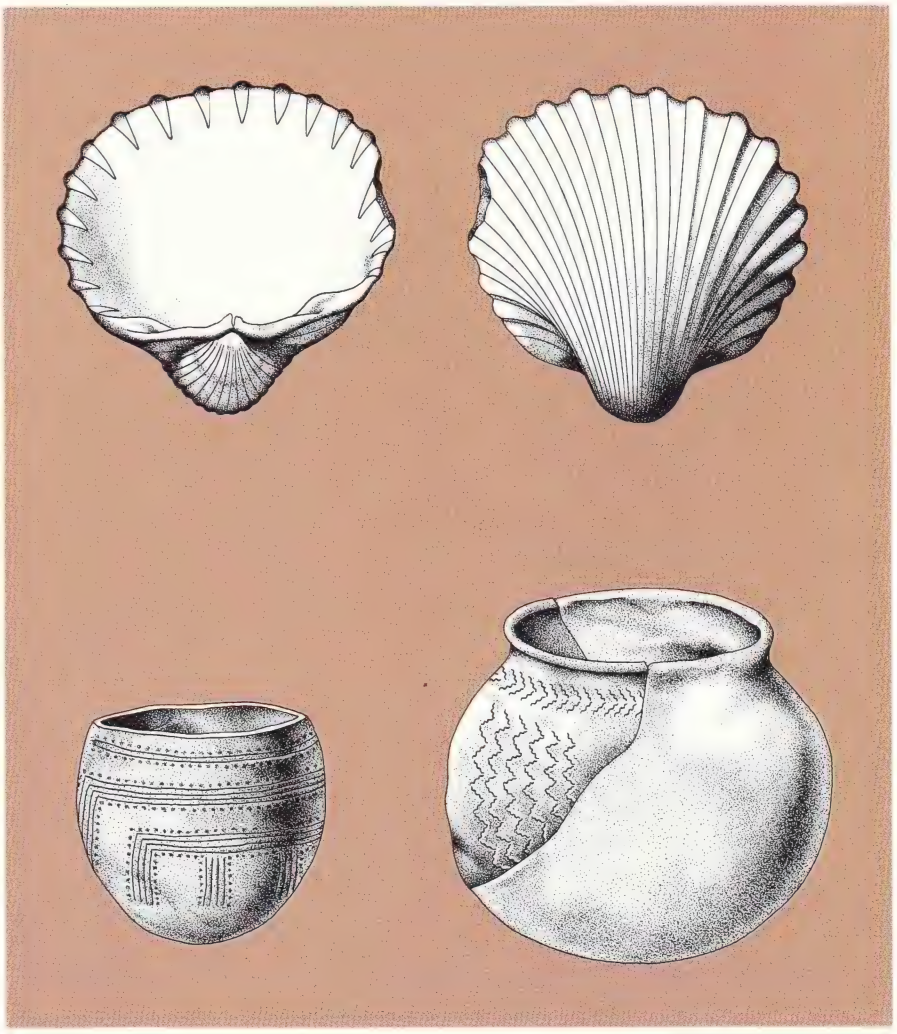
Die Typenvielfalt dieser Tonwaren, die immer glatt aussahen und sorgfältig gebrannt worden waren, ist außerordentlich groß – von der Schale mit einem Gitterwerk aus gebrochenen Linien (Camp-de-Chassey) über die niedrigen Becher mit Friesverzierung (Cortaillod) bis hin zu den schlichten Tassen von Lagozza.

In all diesen Gegenden gibt es Zeugnisse für einen florierenden Ackerbau. Auch die Jagd stand hoch im Kurs, während die Viehzucht nicht so intensiv betrieben wurde. Spindeln und Webstuhlgegengewichte und der Anbau von Flachs bestätigen, daß schon Stoffe hergestellt wurden; hier und da gibt es auch Spuren von Stoffäden, die ihren Abdruck auf Gefäßböden hinterlassen haben.

Das Vordringen der Töpferei in das Adriagebiet entlang der Balkanhalbinsel wird unterschiedlich interpretiert. Die Ähnlichkeit zwischen den neolithischen Kulturen auf beiden Seiten der Adria ist nicht zu übersehen (*Danilo* in Jugoslawien und *Ripoli di Corropoli* in Italien).

Unten links: Kleine Knochensichel mit Mikrolithen (Al Faijum, Ägypten).





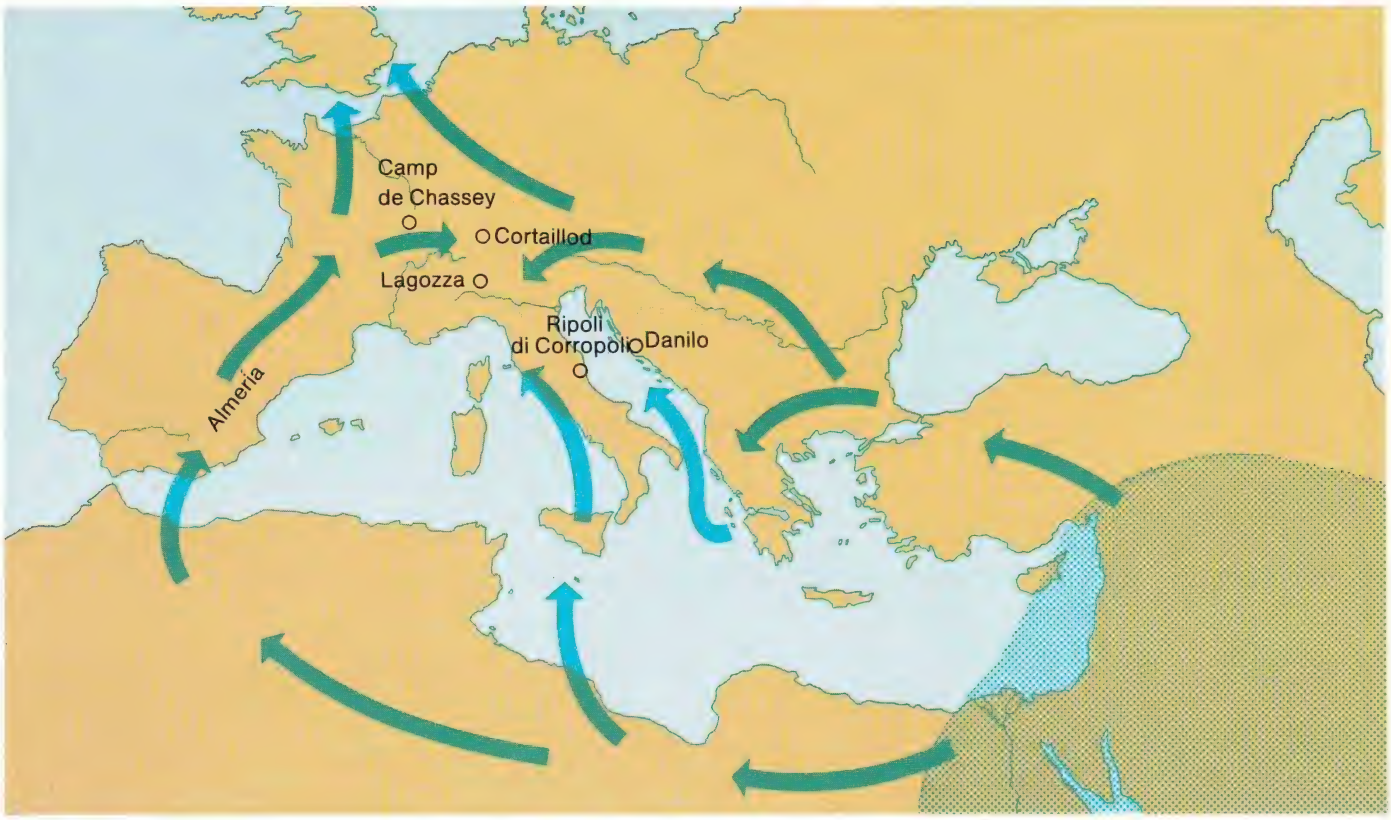
Jedoch war die italienische Halbinsel lange Zeit in zwei Einflußbereiche geteilt. Im Süden waren mehrere Cardiumkeramiken vertreten (alle kleinen vulkanischen Inseln waren damals am Obsidianhandel beteiligt). Vom Norden her verbreitete sich die in der Poebene beheimatete Kulturform in Richtung auf das Tyrrhenische Meer und die Adria.

Im allgemeinen bestanden die bewohnten Orte aus Gruppen von einfachen Hütten, abgesehen von Camp-de-Chassey, wo es eine kleine, befestigte Stadt mit Ringmauern gab, die wegen der besseren Verteidigungsmöglichkeiten auf einem Hügel angelegt war. Auf den Tyrrhenischen Inseln, besonders den Liparischen Inseln, wurden Siedlungen freigelegt, die zum Teil mit primitiven Steinsetzungen befestigt waren.

Ein einflußreicher Kulturtrend, der sich vom Gebiet des Fruchtbaren Halbmondes aus über Anatolien hinaus verbreitet hatte, erreichte auch die Donau an ihrer Mündung ins Schwarze Meer. Fortan wurde dieser Fluß zum bedeutenden Übermittler von Kulturen, eine Tatsache, die das Gedeihen an seinen Ufern in den verschiedenen Zeitaltern günstig beeinflußte.

Die *Donaukulturen* werden immer als zusammengehörige Kulturgruppe behandelt, wenn auch eine unter ihnen, die *Starčevo-Körös-Kul-*

Oben auf der Abbildung (von links nach rechts): Zwei Erzeugnisse der ältesten Almeriakultur (Südspanien); daneben ein Teller mit Randverzierung, ein Krug mit „Patronengürtel"verzierung und ein Schöpflöffel, alle drei aus der Chasseykultur (Mittelfrankreich). Unten auf der Abbildung (von links nach rechts): eine Schüssel mit Randverzierung nebst Untersatz und ein Topf mit Durchbrucharbeit (beides Chasseykultur); daneben eine Schüssel mit Birkenrindenverschalung und eine Holzkelle (Cortaillodkultur, Schweiz); zuletzt eine Tasse und ein Spindelhalter (Lagozzakultur, Italien).



Wir wissen noch immer nicht genau, wie sich die Töpferei in den Mittelmeerländern und in Europa ausbreitete. Die kleine Karte zeigt die möglichen Haupt„strömungen"; alle gehen von dem sog. „Fruchtbaren Halbmond" aus. Wie aber die Keramik Sizilien von den Küsten Afrikas aus erreicht haben soll, bleibt ein wahres Rätsel. Viele Forscher vermuten allerdings, daß nur von dieser Insel aus die Keramik sich über Italien und von dort über ganz Europa ausgebreitet haben könne.

tur (benannt nach einem jugoslawischen und einem ungarischen Ort), von besonderer Bedeutung war. Diese Kultur breitete sich auf beiden Ufern der Donau bis hin zum Balkan, im Norden bis nach Bulgarien, Ungarn und in die Ukraine aus.

In ganz Europa war damals die *Linearbandkeramik* führend, die auch die erste neolithische Kultur Mitteleuropas begründete. Sie ist dadurch charakterisiert, daß man Zierbänder vor dem Brennen in die Gefäßwandung eindrückte. Wir wissen, daß die meisten Völker, die mit diesem Keramiktyp in Verbindung gebracht werden, selten auf die Jagd gingen. Sie lebten in kleinen Hüttengemeinschaften und beschäftigten sich mit Ackerbau und Viehzucht.

In den folgenden tausend Jahren, von 5000 bis 4000 v. Chr., breitete sich die Linearbandkeramik bis zur Nordsee hin aus. Sie ist in Holland und Belgien nachweisbar und hinterließ ihre Spuren, dem Lauf des Rheins folgend, bis ins Elsaß. In der Steinindustrie gab es nichts Neues, dafür waren reichlich Sicheln vorhanden. Rindvieh wurde in Gehegen gezüchtet, die Pferchen ähnelten.

Die Donaukulturen hinterließen auch Spuren in der Poebene mit der sog. *Vasi-a-bocca-quadrata-Keramik* (charakteristische viereckige Tüllen an den Gefäßen). Mit seinen Erzeugnissen war dieser Keramiktyp ein Vorläufer des Lagozzatyps; er verbreitete sich entlang den ligurischen Küsten.

Mit dieser Kulturphase ist die erste Urbarmachung von Land bzw. die Errichtung der sog. *Pfahlbauten* verbunden. Die Häuser, die auf diese Weise gebaut wurden, entstanden in Sumpfgegenden. Sie wurden auf

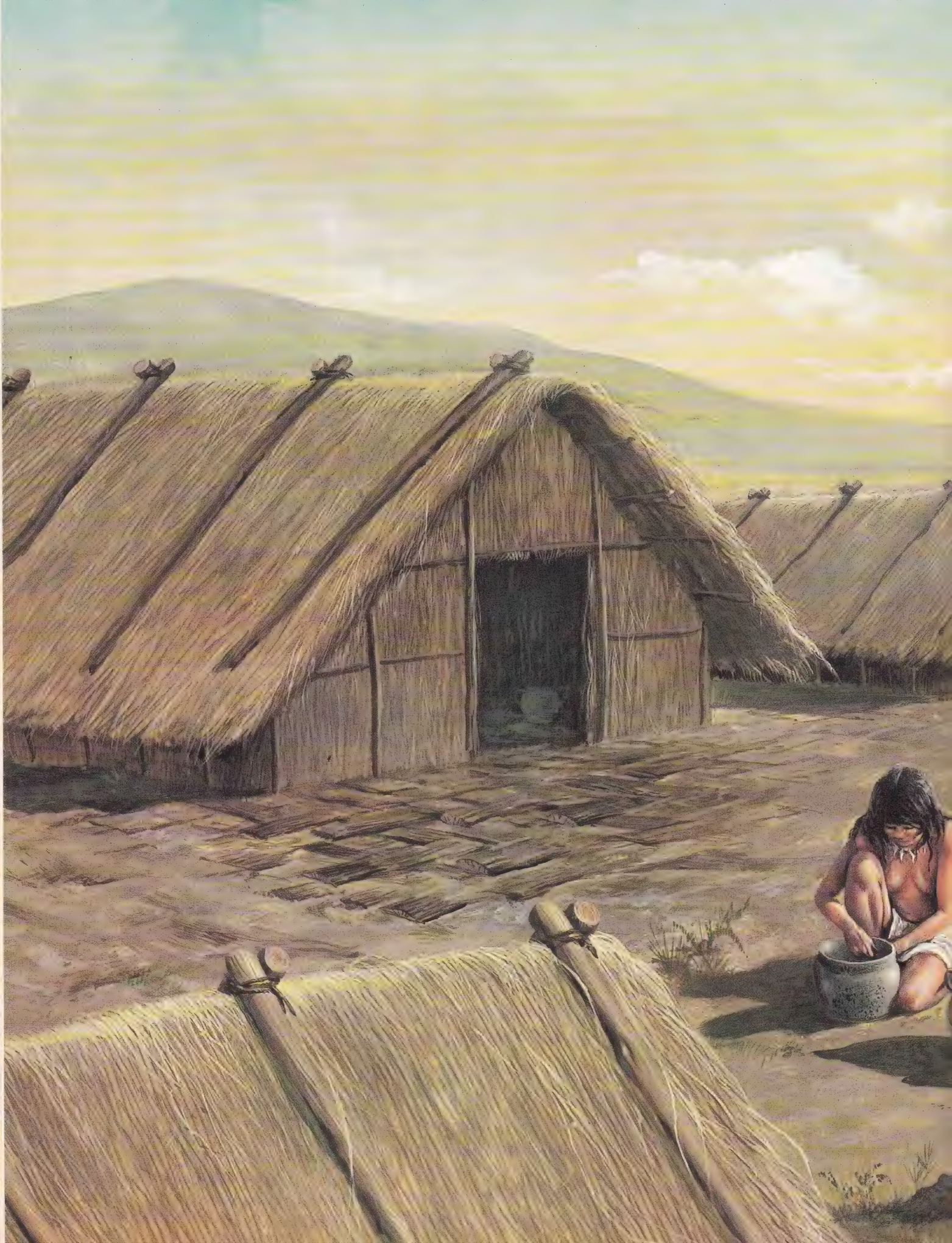
von Pfählen getragenen Plattformen hoch über dem Wasserspiegel errichtet. Die Pfähle selbst hatte man vorher tief in den Sumpfboden eingerammt. Manchmal baute man auch auf riesigen, halb untergetauchten Baumstämmen. Der Fischfang wurde hier nur gelegentlich ausgeübt, Ackerbau und Viehzucht hingegen florierten. Ob die Jagd ausgeübt wurde, wissen wir nicht, da es keinerlei Zeugnisse in dieser Richtung gibt.

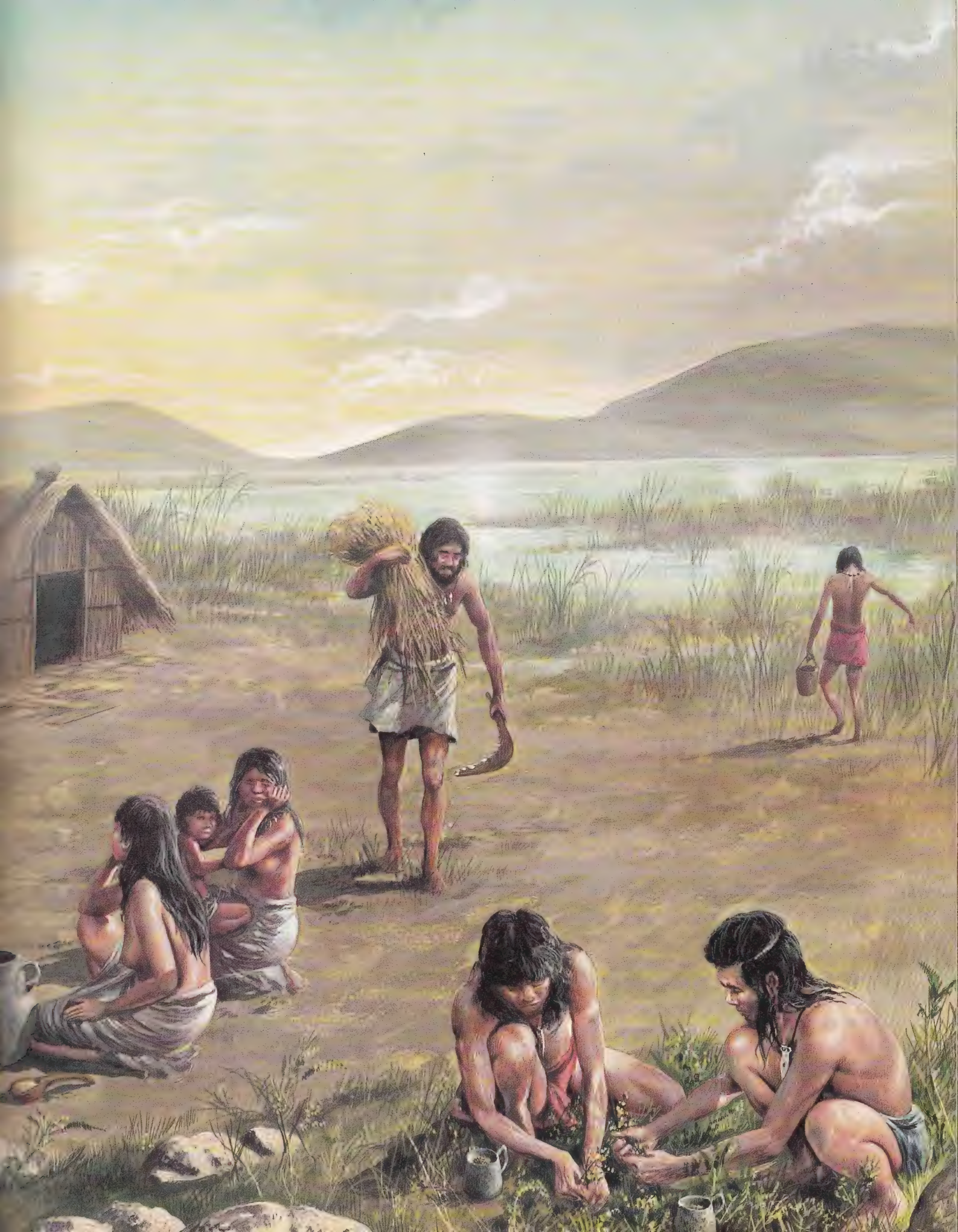
Unklarheiten bestehen noch über die Zuordnung der *Chassey-Cortaillod-Lagozza-Gruppe,* die vorläufig noch eher mit der ersten neolithischen Kultur in England, der sog. *Windmill-Hill-Kultur* (nach der Fundstelle in Wiltshire), als mit der Donaukultur in Zusammenhang gebracht wird. Ihre Siedlungen waren immer auf Anhöhen errichtet und mit von Erdrampen überbrückten Wassergräben umgeben. An der Innenseite der Gräben befanden sich Erdwälle. Der allgemeine Anblick dieser Wallanlagen war der „eines Lagers mit erhöhten Straßen". Da jedoch dort nur die Überreste von domestizierten Tieren gefunden wurden, ist nicht auszuschließen, daß solche Konstruktionen lediglich als große Pferche für das Vieh dienten. Sich diese Gräben als Verteidigungssystem vorzustellen, erscheint ziemlich abwegig, da sie von so vielen dauerhaften Erdbrücken überspannt sind.

Die Windmill-Hill-Keramik verbindet man mit lokalen Traditionen, die möglicherweise mesolithisch sind. Der typischste Gegenstand ist eine schlichte Schale, deren Rand mit senkrechten Rillen verziert ist. Die Windmill-Hill-Kultur wird auf etwa 3000 v. Chr. datiert; ihre Blütezeit lag jedoch im Zeitalter der Metalle.

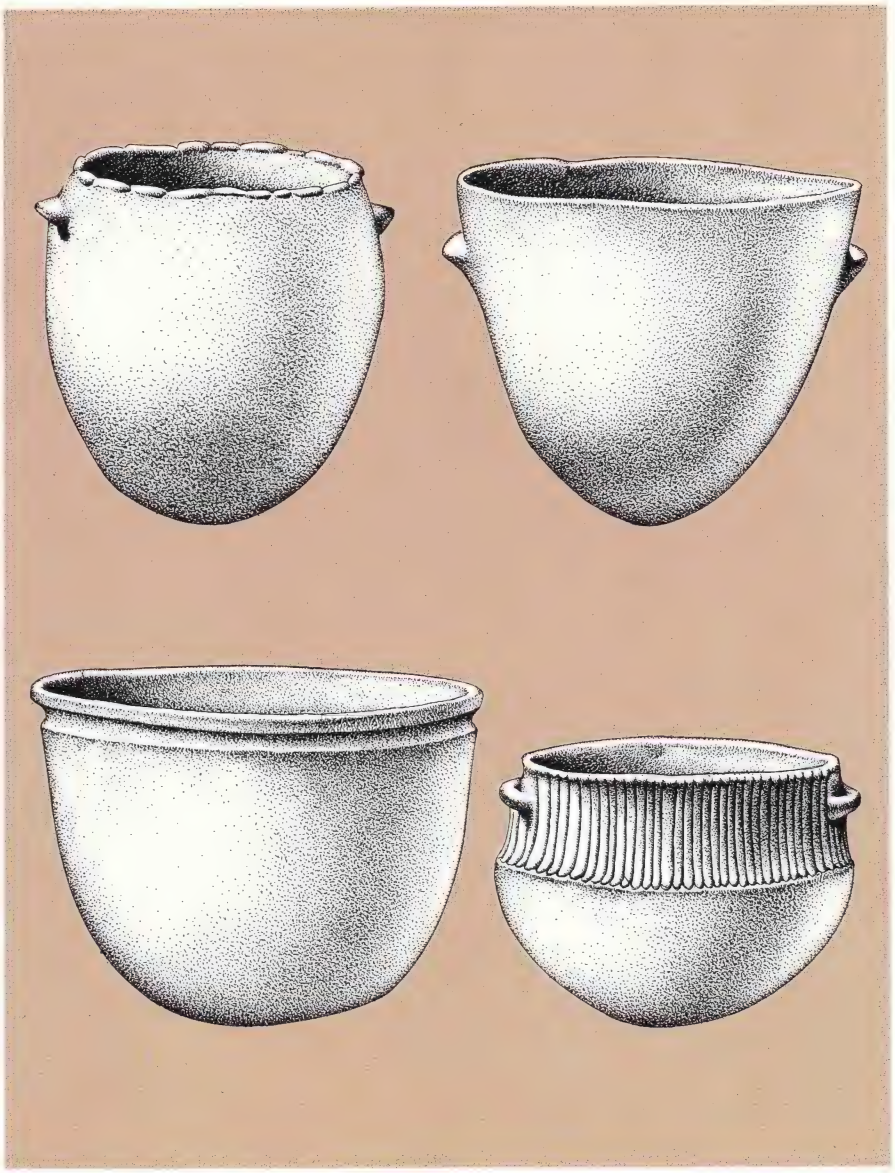
Oben: Keramik der Donaugruppe: In der oberen Reihe: Gefäß mit vier Henkeln (Linearbandkeramik von Enzheim, Elsaß); Gefäß mit Sockel (Starčevokultur, Jugoslawien); Krug mit Reliefverzierung (Köröskultur, Ungarn). In der unteren Reihe: von der Donaukultur geprägte Schale (Les Tombes und Vicinal, Belgien); zwei mit Siegeln versehene Tongefäße (Lingolsheim und Wolfisheim, Elsaß).

Abbildung auf den beiden folgenden Seiten: An den Ufern von Seen und Flußbecken mußte man so bauen, daß die Wohnstätten und die darin lagernden Nahrungsvorräte durch die periodischen Überschwemmungen nicht erreicht wurden. Dies gelang, indem man die Hütten auf einer von Pfählen getragenen Plattform errichtete.





Oben: Typischer tulpenförmiger Trichterbecher aus dem mittleren Neolithikum (Michelsberg, Deutschland).



Rechts: Die Windmill-Hill-Kultur reichte vom Neolithikum bis zum Anfang des Metallzeitalters. Das Keramikmaterial war hier ziemlich grob, obwohl Gestalt und Form der Gegenstände mannigfaltig und höchst spezialisiert waren.

Im Gegensatz zur Chassey-Cortaillod-Lagozza-Gruppe ist die sog. *Trichterbecherkultur* sicher eng mit der Donaukultur verbunden. Sie war im Neolithikum in Mittel- und Nordwesteuropa weit verbreitet und zeigte charakteristische Tongefäße in Trichterform.

Eine Stadt an der Donau

In den tiefen Schluchten des *Eisernen Tors,* etwa hundert Kilometer von Belgrad entfernt, entdeckte man eine Siedlung mit z. T. einzigartigen Merkmalen: *Lepenski-Vir.* Die ersten stratigraphischen Schichten sind mesolithisch. Dann folgt eine Anzahl von Schichten, die, obwohl vielleicht neolithisch, überhaupt nicht mit der Donaukultur verwandt und außerdem ziemlich einfach sind. Nur etwa die Hälfte oder weniger von der bewohnten Fläche (grob geschätzt 2 500 m^2) der Steinzeitstadt Lepenski-Vir ist erhalten, alles andere wurde vom Fluß verschlungen.

Die Häuser waren hier aus Stein und nach einem elliptischen Grundriß angelegt, mit einer rechteckigen Feuerstelle in der Nähe des Eingangs. Der Eingang lag immer zum Fluß hin. In der Nähe der Feuerstellen fand man grob gearbeitete Menschen- und Tierkopfplastiken, deren Gesichter häufig grimassenhaft verzerrt sind. Figuren mit geometrischen Verzierungen sind selten. Wie in den Ofnethöhlen zeigen die Grabstätten ganz deutlich, daß diese Menschen enthauptet worden waren.

Die Wirtschaft der frühesten Einwohner von Lepenski-Vir gründete sich vorwiegend auf den Fischfang; gelegentlich betätigte man sich auch als Jäger und Sammler. Um 5500 v. Chr. scheint der Hund das einzige domestizierte Tier gewesen zu sein. Später züchtete man auch Rinder, Ziegen, Schafe und Schweine. Wegen der ungünstigen Klimabedingungen wurde nur in geringem Umfang Ackerbau getrieben. Die Töpferwaren waren zuerst einfach und unverziert; später malte man in Weiß auf rotem Grund. Die Verzierung (die später die Donaukulturen übernahmen) entstand dadurch, daß man Schlicker, d. h. nahezu flüssigen Lehm, auf das schon geformte Gefäß tropfen ließ. Man nennt diese Form der Gefäßverzierung deshalb *Schlickerverzierung*.

Die Steinzeit„industrie" in Lepenski-Vir umfaßte Mikrolithen (manchmal in Holz- oder Knochengriffe als Sicheln eingesetzt) und Objekte aus geschliffenem Stein. Die letzte Phase der Lepenski-Vir-Kultur verschmolz mit der Starčevokultur.

Die Entwicklung dieser Stadt in einer Gegend, die eher zu einem paläolithischen Lager paßt, und ihr natürlicher, unproblematischer Übergang vom Mesolithikum zum Donauneolithikum lassen viele Fragen aufkommen. So ist z. B. der Untergang der Stadt von einem geheimnisvollen Dunkel umhüllt; denn während in der neolithischen Periode weitere Ausdehnung und größeres Wachstum bei anderen Städten die Regel waren, kam es im Falle von Lepenski-Vir, wo die bearbeiteten Felder zwischen Felsabhängen eingeschlossen waren, zu einer früh eintretenden Bodenerschöpfung, die für die Stadt tödlich war. Dies könnte die Verzögerung der neolithischen Revolution an einem Ort erklären, der schon so weit entwickelt war, daß er die feinsten Skulpturen im vorgeschichtlichen Europa und eine funktionierende Siedlung hervorgebracht hatte.

Vielleicht stellte Lepenski-Vir, wie manche Archäologen behaupten, tatsächlich die einzige „paläolithische Stadt" dar, und die Bevölkerung war später nicht mehr imstande, sich den neuen Zivilisationsströmungen anzupassen. Vielleicht wurden auch die Einwohner, die sich an eine bestimmte Lebensweise gewöhnt hatten, von den Umwälzungen der Zeit, denen sie selbst den Weg bereitet hatten, einfach überrollt. In diesem Fall hätte der Mensch dort dasselbe Schicksal erlitten, das er manchen Tierarten schon oft aufgezwungen hatte, indem er sie umgesiedelt oder ihre Umgebung radikal verändert hatte.

Unter den Funden von Lepenski-Vir (Jugoslawien) gab es in fast allen Häusern vierschrötige, untersetzte Statuen, die aussahen, als ob sie an einem heiligen Ort wachten, wo vielleicht Sühnopfer dargebracht wurden.

Riesensteine

In mehreren Phasen der Jungsteinzeit gibt es bei einigen der bereits erwähnten Kulturen Hinweise auf sog. *Megalithen* („Riesensteine"), wie sie es bis dato noch nie gegeben hatte.

Bedrängt von der Ungewißheit, ob er durch die Jagd und das Sammeln von eßbaren Pflanzen seine tägliche Nahrung auch weiterhin würde beschaffen können, trat der Mensch aus seinen bemalten Höhlen heraus, in denen er versucht hatte, die Natur magisch zu beeinflussen;

Oben: Die Stadt Lepenski-Vir wurde auf Felsterassen gebaut, die zur Donau hin abfielen.

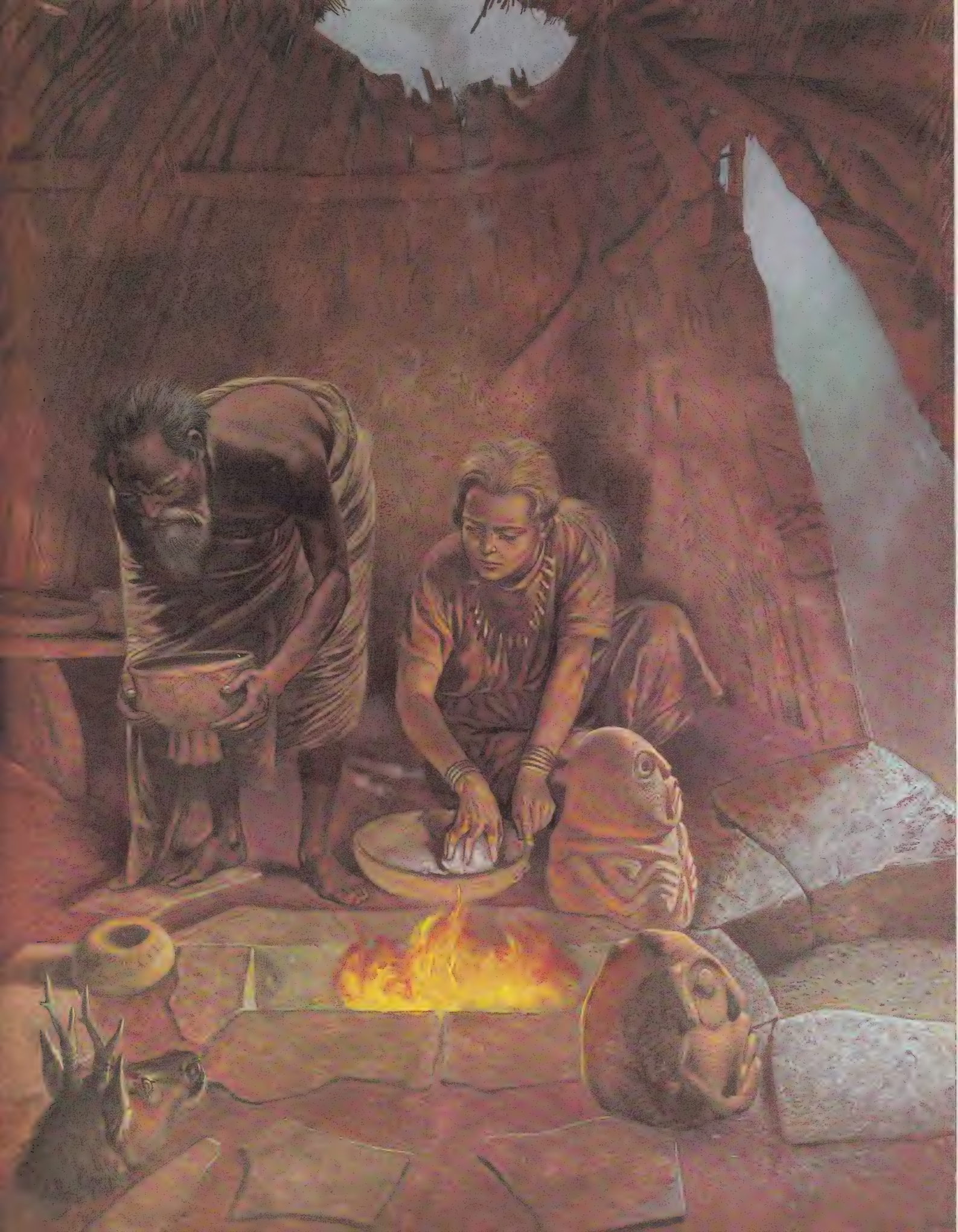
vielleicht wollte er sich auch im Dunkel der Höhlen vor der Sonne verstecken. Draußen entdeckte er dann mit einem Mal den riesigen Raum um sich herum und die beiden großen Leuchtkörper – Sonne und Mond. Er nahm nunmehr das Tageslicht wahr, das ihm die kahlen Eismassen allzu lange verschleiert hatten.

Also entschloß sich der Mensch, etwas Gewaltiges hervorzubringen, um sich ein Denkmal zu setzen, das zugleich einen Teil seiner neuen, heitereren Umwelt darstellen sollte. Nachdem er noch recht unsicher und tapsig aus dem Mesolithikum ins Neolithikum eingetreten war, rammte der Mensch große Steinblöcke in die Erde, die sich dann wie Riesenbäume gen Himmel reckten. Er entdeckte, daß sich die Schatten der Steinblöcke mit der Sonne im Rhythmus der Jahreszeiten bewegten.

Vielleicht stehen die Megalithen, wie früher oft behauptet wurde, im Zusammenhang mit der Symbolik der Männlichkeit. Unabhängig davon waren sie auf jeden Fall mit einem Sonnenkult verbunden, da sie im Freien aufgestellt waren und ihre Struktur niemals ein geschlossenes Ganzes ergab. Die Megalithen stellen eine „Erfindung" dar, die wahrscheinlich niemals von einer ethnischen Gruppe zur anderen weitergegeben wurde, sondern sich jeweils spontan entwickelte, sobald die erforderlichen technischen Vorraussetzungen erfüllt waren. Dem Menschen war der Hebel nichts Neues (schon seine Arme mit ihren Muskeln sind ja Hebel), aber erst als er anfing, mit seinesgleichen im Team zu arbeiten, war er imstande, riesige Objekte zu bewegen.

Rechte Seite: Die Behausungen von Lepenski-Vir hatten Steinfußböden. Die Wände waren unterschiedlich hoch, so daß das Dach ziemlich schräg lag. Eine Öffnung im Dach diente dem Rauchabzug. Der Herd lag etwas vertieft im Fußboden.

Besonders in den letzten Phasen des Neolithikums und während des Übergangs zum Metallzeitalter entstanden in ganz Europa bemerkenswerte Denkmäler der megalithischen Kultur. Aber diese Gebilde sind nicht nur auf Europa und das Neolithikum beschränkt. Überall strebte



der Mensch danach, dauerhafte megalithische Zeugnisse seiner Geschicklichkeit zu hinterlassen. In Afrika gibt es Gebilde dieser Art, die erst rund tausend Jahre alt sind.

Megalithen erfüllten verschiedene Zwecke: Als *Menhire* (ein bretonisches Wort, das „langer Stein" bedeutet) bestanden sie aus einem einzigen aufrechtstehenden Riesenstein, der fest in der Erde verankert wurde und oft als Grabdenkmal diente. Als *Dolmen* (zu dem keltischen Wort tōl, das „Steintisch" bedeutet) waren sie aus mehreren senkrecht aufgestellten Steinen gebildet, die von einer waagrechten Steinplatte überdacht wurden. Diese stellten ebenfalls Gräber dar, die häufig die sterblichen Überreste von mehreren Toten bargen. Alle Steindenkmäler sind so aufgestellt, daß sie immer in eine bestimmte Richtung weisen, die allerdings von Gebiet zu Gebiet unterschiedlich sein kann. Es lassen sich jedenfalls Zusammenhänge zwischen der Art der Anlage und der Position der einzelnen Planeten und insbesondere der Sonne erkennen.

Wir haben bereits festgestellt, daß sich im Neolithikum der Mensch immer mehr seiner Macht, die Umwelt beeinflussen zu können, bewußt wurde. In den Megalithen suchte er gleichsam eine Bestätigung dieser seiner Macht. Sie hatten ihre Wurzeln nicht mehr so sehr in der Magie wie etwa noch die Höhlenmalereien des Paläolithikums. Diese „Sonnentempel" erfüllten vielmehr zugleich einen ganz realen Zweck: Mit ihrer Hilfe konnte man die Planetenbahnen berechnen und danach die jeweils günstigsten Planetenpositionen für bestimmte landwirtschaftliche Arbeiten und für die Fortpflanzung der Haustiere ermitteln.

Manchmal waren die Menhire zu regelrechten „Steinalleen" (sog. *Alignements*) mit parallel hintereinander aufgestellten Steinen, die alle in die gleiche Richtung wiesen, angeordnet (in *Carnac* in der Bretagne z.B. gibt es Menhiralleen von über 4 km Länge). Vielleicht stellen solche Alignements überdimensionale Meridiane dar, oder sie sind als Huldigung an irgendeinen Planeten aufzufassen, der an einem bestimmten Tag zwischen den Lücken des Alignements sichtbar wurde.

Wenn wir annehmen, daß die „Schlüsseltage" für die Denkmäler die längsten und die kürzesten Tage des Jahres sind, dann können wir in manchen Fällen das Baujahr der Megalithen annähernd datieren. Wenn z. B. an einem bestimmten Tag die Richtung des Sonnenaufgangspunktes mit der Achse des Denkmals einen bestimmten Winkel bildet, kann man ausmessen, wie weit sich die Erdachse durch das Vorrücken der Tagundnachtgleichen verschoben hat und wie viele Jahre seit dem Tage, an dem der Menhir in dieser Weise aufgestellt wurde, vergangen sind. Gewöhnlich liegen die so ermittelten Daten mit wenigen Ausnahmen bei etwa 2000 v. Chr.

In *Windmill-Hill* bei Avebury (Wiltshire) in England sind die Megalithbauten von künstlichen Erdhügeln bedeckt und bilden echte *Hügelgräber* (Ganggräber).

Auf der Insel *Malta* gibt es riesige Megalithtempel, die alle um 2000 v. Chr. erbaut wurden.

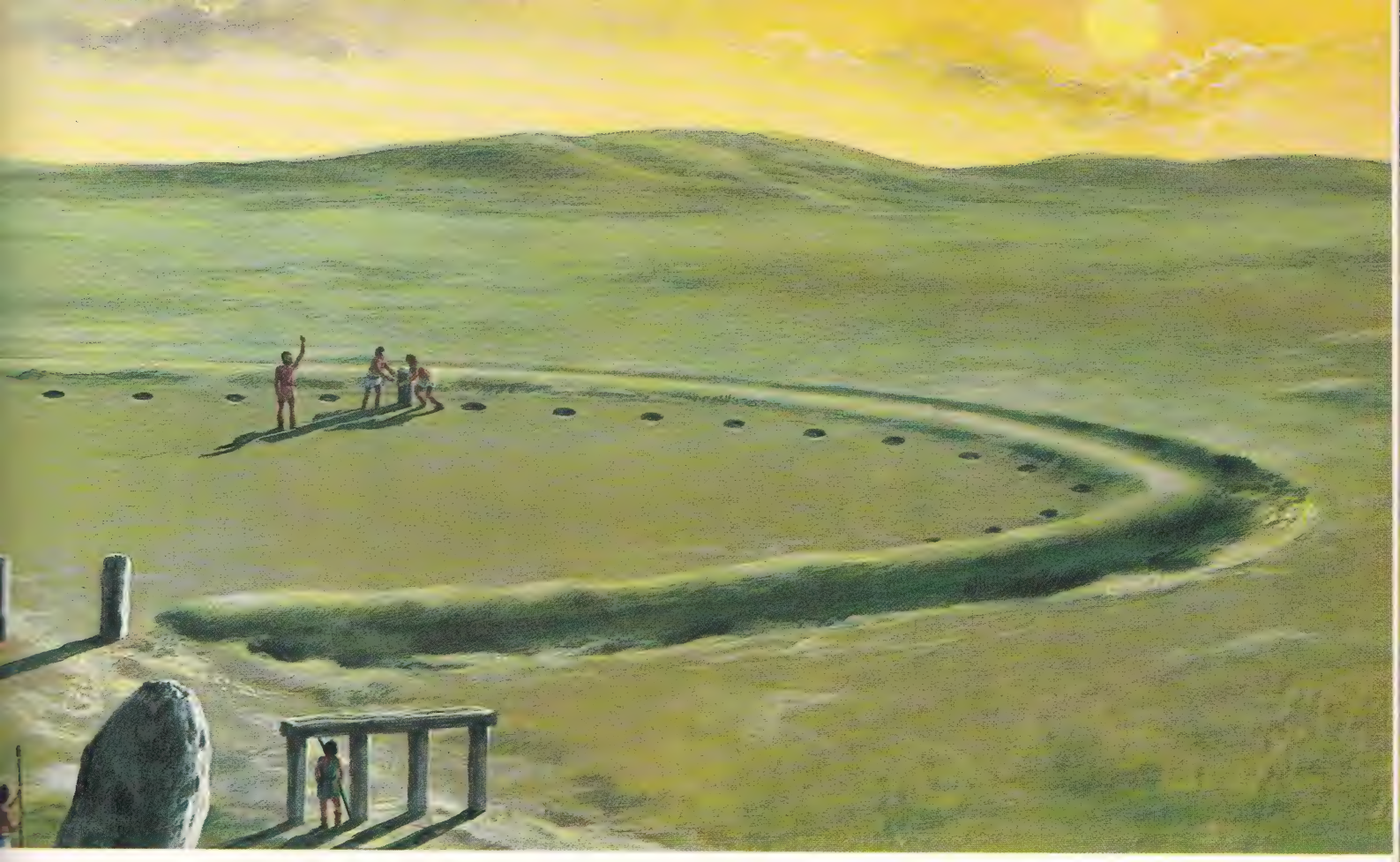
Die am besten erhaltene Megalithanlage von *Stonehenge* in Wiltshire, die aus dem dritten bis zweiten Jahrtausend stammt, entstand in mehreren Phasen. Die erste Anlage stammt aus dem späten Neolithikum; sie besteht aus einer Reihe kreisförmig angeordneter Löcher. In diese Löcher setzte man später Holzpfähle von einer bestimmten Länge ein, mit deren Hilfe man feststellen konnte, an welcher Stelle Sonne und Mond zu verschiedenen Jahreszeiten auf- und untergingen.

In Carnac in der Bretagne gibt es kilometerlange Reihen von Menhiren. Man nimmt an, daß diese eindrucksvollen megalithischen Gebilde mit einem Sonnenkult zusammenhängen.

Mit der Beobachtung natürlicher Zyklen über lange Zeiträume erschloß sich der Mensch das Neolithikum. Die Megalithen zeigen, wie weit fortgeschritten seine Fähigkeiten bereits waren. Methodische Untersuchungen und Teamarbeit haben es uns ermöglicht, eine beträchtliche Anzahl wissenschaftlicher Daten hierüber zusammenzustellen, wie ja andererseits Teamarbeit diese Denkmäler (die uns auch heute noch, gemessen an ihrem Alter, wirklich riesenhaft vorkommen) überhaupt erst möglich machte. Ihre Existenz, ihre Bauform und ihre Aufstellung zeigen, wie weit sich die Haltung des Menschen gegenüber der Natur bereits verändert hatte: Zu jener Zeit muß er begriffen haben, daß er nicht allein, wohl aber als organisierte Gruppe die Zeit messen, ja vielleicht sogar den geheimen Mechanismus der Welt – den er noch nicht durchschaut hatte – ergründen konnte. Diese Tempel beziehen die Natur in ihre Kreise ein. Sie laden sie ein zu tun, was der Mensch von ihr verlangt. Aber sie kontrollieren sie zugleich, so daß Fehlergebnisse ausgeschlossen sind.

Das Neolithikum in Asien und Amerika

Das Neolithikum in *Asien* wird durch reichlich lückenhaftes Material dokumentiert. Auch heute noch sind wir lediglich imstande, uns eine ungefähre Vorstellung von den verschiedenen Einflüssen und Wechselbeziehungen zu machen, die damals wirksam waren. Es erscheint ziemlich unwahrscheinlich, daß die Ausbreitung der Töpferei vom Gebiet des Fruchtbaren Halbmondes aus etwa die Länder östlich des Persischen Golfs unbeeinflußt gelassen haben könnte; wir haben jedoch keine zuverlässigen Beweise dafür.



Das erste Bauwerk von Stonehenge war sehr einfach: eine Reihe von Vertiefungen oder Löchern innerhalb eines kreisförmigen Bereichs, die es den Menschen ermöglichten, gewisse wichtige astronomische Daten zu sammeln, die sich auf die günstigsten Zeiten für die Aussaat oder die Paarung bei den Tieren bezogen. Später steckte man Holzpfähle in die Erde und beobachtete die Schatten, die diese warfen. Auf diese Weise konnte der Mensch Gebote und Ratschläge wie auf einer riesigen Sonnenuhr „ablesen".

In *Indien* ist das vorhandene Beweismaterial, was die Entwicklung der vom Paläolithikum beeinflußten Gebiete anbetrifft, sehr lückenhaft. Jedoch mündeten in diesem Bereich, genauer: in demjenigen, der dem heutigen Pakistan entspricht, die *Soan-* und die *Khandwilikultur* (beides paläolithische Kulturen) in die große historische Zivilisation des Indus *(Harappakultur)* ein. In jüngster Zeit hat man die neolithische Kultur von *Anau* (Turkestan) als mögliche Brücke zwischen dem Neolithikum des Nahen Ostens und der Gegend von Indien interpretiert. Die Gebiete der Hauptausbreitung waren, so nimmt man an, *Tappe Sialk* (Iran), das eine Kulturspanne von 5000 v. Chr. bis ins Metallzeitalter hinein umfaßt, und möglicherweise *Tappe Hissar* (Nordiran), wo feine Töpferwaren um 2500 v. Chr. bemalt wurden, obwohl noch rund 1 000 Jahre zuvor eine graue Keramik verbreitet war.

In *China* scheint sich der Übergang zum Neolithikum ohne jegliche Zwischenphase vollzogen zu haben. Im Bogen des *Hwangho* bis zum Kulturkomplex des Ordosplateaus *(Ordoskultur)* florierte die *Yangshaokultur;* dort sind große Siedlungen, fast schon kleine Städte, zum Vorschein gekommen. Die Häuser waren kreisförmig gebaut und hatten Lehmwände. Das Dach ruhte auf einem Gerüst von Holzbalken, das durch senkrechte säulenartige Pfähle gestützt wurde. Mittelpunkt der Hütte war der Herd. Es wurden Rinder, Ziegen und Schweine gezüchtet. Der Getreideanbau beschränkte sich auf Hirse. Die Steinbearbeitung erstreckte sich auf Klingen und Sicheln aus geschliffenem Feuerstein. An Töpferwaren gab es enghalsige Krüge mit kleinen Henkeln, die mit mehreren Farben in gebogenen, sich schlängelnden Linien bemalt waren. Trotz der reichlich vorhandenen Zeugnisse, die hier ausgegraben

Mit den chinesischen Tonwaren der Yangshaokultur assoziiert man den Hirseanbau. Viele Überbleibsel dieser Kultur wurden bereits entdeckt, doch gibt es wegen der unsicheren Stratigraphie, was die Datierung betrifft, sehr unterschiedliche Angaben. Eine gewisse Wahrscheinlichkeit spricht für die Zeit zwischen 6000 und 3000 v. Chr.

wurden, ist eine genaue Datierung schwierig. Nach Ansicht mancher Wissenschaftler ist die Yangshaokultur etwa in der Zeit zwischen 6000 und 3000 v. Chr. anzusiedeln.

In *Japan* ist die sog. *Dschomonkultur* mit ihren kleinen Gefäßen in Schnurmusterkeramik ein besonders frühes Beispiel einer neolithischen Kultur (Beginn etwa 4500 v. Chr.). Ihre Wirtschaft gründete sich auf den Fischfang (mit zugespitzten Harpunen und Knochenhaken). Die Entwicklung des Ackerbaus kann auf Grund der Funde mehr oder weniger übereinstimmend datiert werden (4000–3000 v. Chr.), wenn sich die Annahme, daß gewisse Steinutensilien primitive Hacken und Spaten darstellen, als richtig erweist. In dieser Kultur finden wir eine eigentümliche Umkehrung alles dessen, was wir bisher gelernt haben: Statt des üblichen vorkeramischen Neolithikums gab es in Japan eine „vorlandwirtschaftliche Keramik".

Verschiedene Forscher wollen eine große Ähnlichkeit zwischen den reich verzierten Erzeugnissen der Dschomontöpferei und den frühesten amerikanischen Töpfereierzeugnissen festgestellt haben. Es ist aber gut möglich, daß diese Ähnlichkeit lediglich auf Parallelentwicklungen beruht, die unter anderem durch eine ähnliche Lebensweise (z. B. mit dem Fischfang als Schwerpunkt) bestimmt wurden.

Wie bereits bemerkt, trat in *Amerika* das Neolithikum zuerst nur vereinzelt in Erscheinung. Der amerikanische Kontinent zeigt eher eine ausgeprägte Verlängerung des Mesolithikums, dessen Lebensbedingungen hier weit weniger hart waren als in der Alten Welt.

Häufig sind kulturelle Verbindungen zwischen ähnlichen Keramikstilformen rein hypothetisch. Ein typischer Fall ist der der japanischen Dschomonkeramik, die in vielem der frühesten amerikanischen Keramik aus der Gegend um Valdivia in Ecuador gleicht. Jedoch ist die Möglichkeit einer direkten kulturellen Verbindung wegen der ungeheuren Entfernung zwischen den beiden Gebieten höchst unwahrscheinlich.

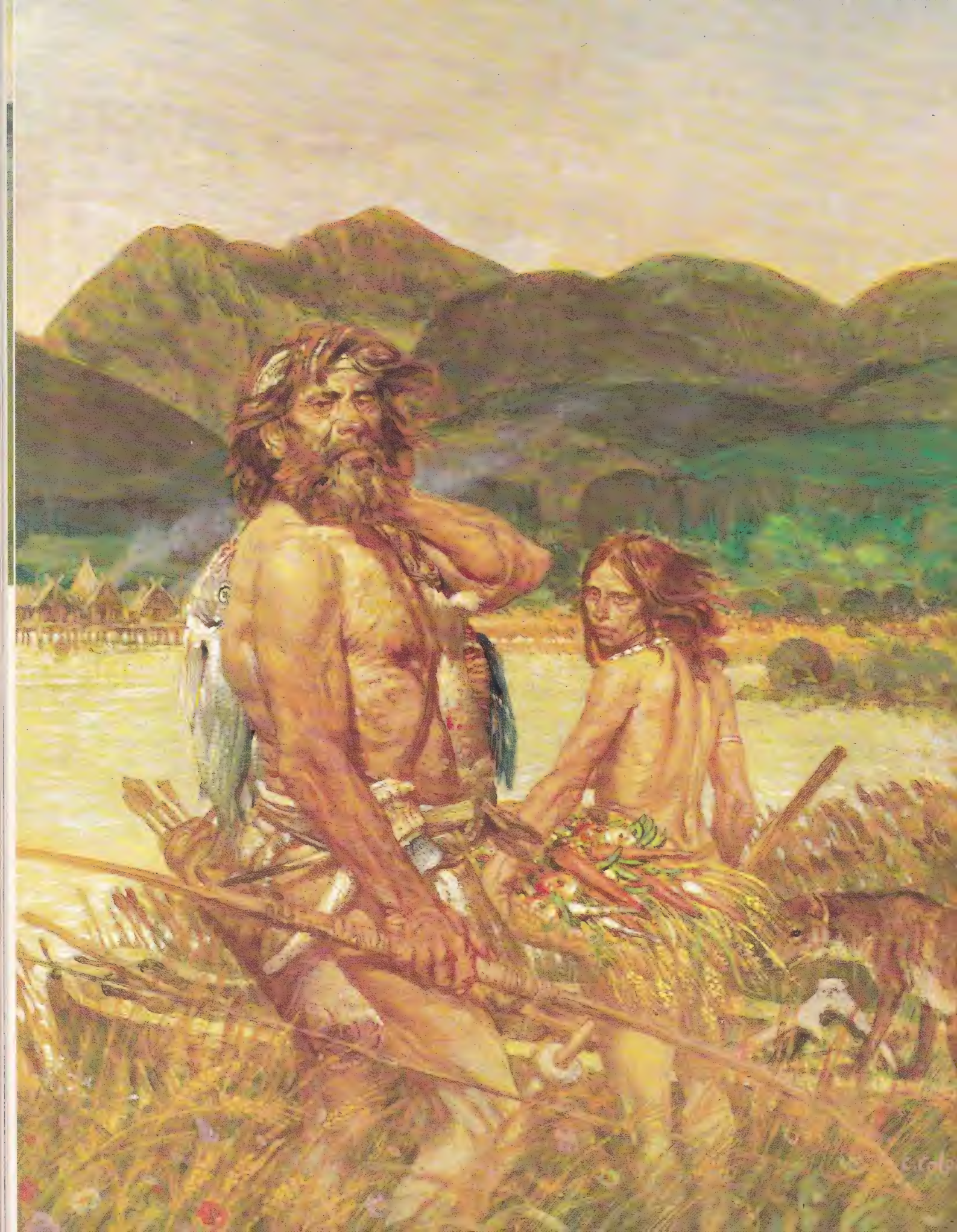
Von 5000 v. Chr. an gab es in Mexiko, Ecuador, Bolivien und Peru eine vorkeramische Phase des Neolithikums, in der nur Ackerbau betrieben wurde. Wir erwähnten bereits die häufigsten Kulturpflanzen. Hinzuzufügen wäre, daß eine wilde Baumwollart zu dieser Zeit geerntet und später auch angebaut wurde. Gewebe aus entsprechenden Fasern waren schon ab 4000 v. Chr. an vielen Orten bekannt.

Die ersten Spuren von Töpferei fand man bei *Valdivia* an der Küste von *Ecuador;* es ist dies genau die Kultur, deren Erzeugnisse mit den Dschomongefäßen (s. o.) verglichen werden. Der geometrische Stil der Verzierungen war vom Anfang an höchst vielgestaltig. Genau wie im Falle der Dschomonkultur könnte man sagen, daß hier die Keramik bereits am Anfang ihrer Entwicklung „alt" und voll ausgebildet war. In Valdivia wurden auch kleine Figuren gefunden, die viele Berührungspunkte mit den Beispielen der Dschomonproduktion aufwiesen.

Später folgte die Keramik von *Puerto Hormiga (Kolumbien),* die auf etwa 2000 v. Chr. datiert wird.

In einigen Gegenden des Amazonas gab es etwa um das dritte Jahrtausend v. Chr. die ersten Versuche von *Brandrodung.* Dabei wurden Teile des Waldes niedergebrannt, die durch die Asche schnell fruchtbaren Boden abgaben. Nach der Ernte wurden diese Gebiete von der jeweiligen Gemeinschaft wieder aufgegeben.

Die frühesten neolithischen Kulturen von *Mexiko (Tamaulipas* in der östlichen Sierra Madre) kannten ebenfalls noch keine Keramik, sondern gründeten sich ausschließlich auf die Jagd und den Ackerbau.



Die neolithische Revolution als ökologische Krise

Ein Weg ohne Umkehr

In den letzten Phasen der Hominisation oder Menschwerdung begann der Mensch, sich seiner Umwelt gegenüber ganz anders als alle anderen Tiere zu verhalten; das verdankte er seinem Gehirn, jenem außerordentlichen Werkzeug, mit dem die Evolution ihn ausgestattet hatte: Er nahm die Chance wahr, seine körperlichen Möglichkeiten zu erweitern, indem er Werkzeuge herstellte. Er lernte, Naturphänomene zu beobachten, und er lernte schließlich, seine eigenen Erfolgsmöglichkeiten zu steigern, indem er sich natürliche Mechanismen zunutze machte, zunächst durch die (doch recht unzuverlässige) Kunst der Magie, später durch unmittelbare Einwirkung.

Es gibt auch heute noch eine Reihe von Gemeinschaften, die sozusagen in der Steinzeit leben. Betrachtet man sie unvoreingenommen, dann wird einem bewußt, daß der „Fortschritt" im Grunde weder notwendig noch dringlich war. Diese entwicklungsmäßig gesehen zurückgebliebenen Populationen, die auch heute noch nicht ihre Nahrungsmittel selbst erzeugen können, waren lange von allen äußeren Einwirkungen abgeschnitten und hatten in Gegenden gewohnt, die von den sonst üblichen Klimaveränderungen verschont blieben: Die Kalahari etwa, manche Gebiete in Mittelaustralien und Neuguinea, einige Gebiete am Amazonas: in allen herrscht das gleiche Klima wie vor 50 000 Jahren.

In den meisten anderen Gebieten der Erde dagegen waren die Menschen am Ende der letzten Eiszeit gezwungen, ihre Lebensweise zu ändern. Die große Krise, die viele Tierarten betraf und die auch zu einem neuen Gleichgewicht unter den Pflanzenarten führen sollte, brachte ein ziemlich günstiges Klima hervor. Hätte es eine neue Eiszeit gleich nach der darauffolgenden Wärmeperiode gegeben, dann wäre die Weiterentwicklung der Umwelt wahrscheinlich anders verlaufen, und die Tatsache, daß der Mensch bestimmte Tierarten bevorzugte, wäre ohne Folgen geblieben.

Soweit wir wissen, wurde der Neandertaler von der neuen Kältewelle der zweiten Würm-Vereisung einfach überrollt, indem das vorübergehend milde Klima eine Krise in dem im Laufe der ersten Phase der Würm-Vereisung gefestigten ökologischen Gleichgewicht hervorrief.

Im Neolithikum veränderte sich das Verhältnis zwischen dem Menschen und seiner Umwelt weitgehend. Der Mensch verließ sich nun nicht mehr allein auf die Jagd und den Fischfang als Nahrungsquellen, sondern er produzierte seine Nahrung selbst, indem er den Boden bebaute. Mit der Entstehung von Dörfern, die häufig auf Holzpfählen gebaut wurden, entwickelte sich das Gemeinschaftsleben.

Rechte Seite: Die ersten Tiere, die domestiziert wurden, waren Pferd, Wildschwein, Wolf, Schaf und Auerochse.

Der neothermische Zustand (so wird die „Wärmeperiode", in der wir selbst leben, genannt) bildet also die Voraussetzung für alle späteren menschlichen Aktionen.

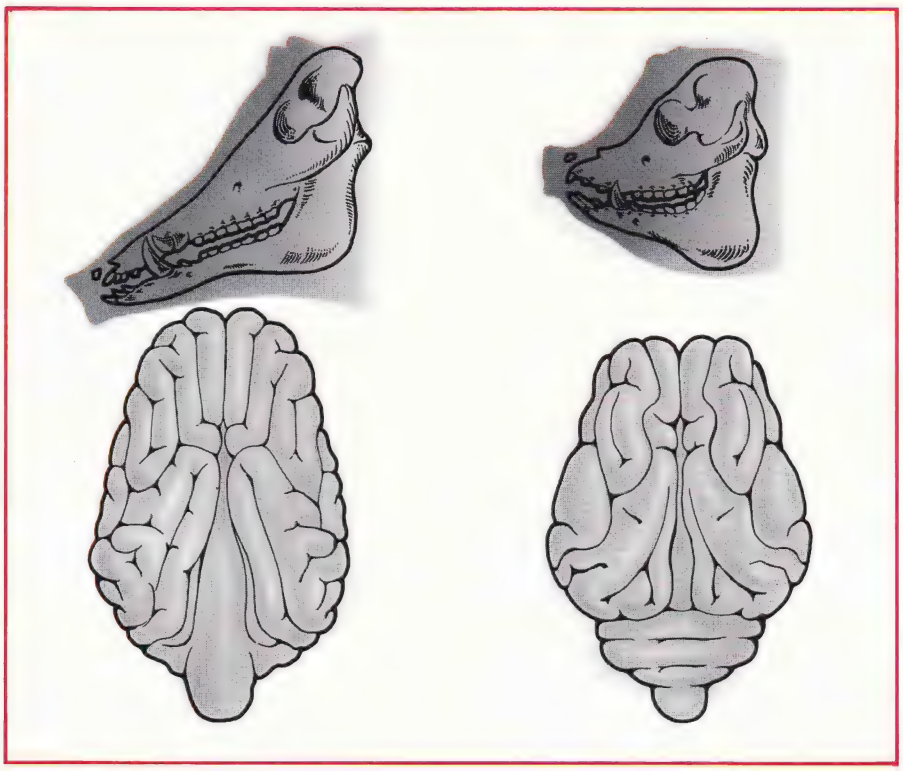
Der drastischen Auslese, die das Aussterben mehrerer Tierarten mit sich brachte, folgte eine künstliche Auslese durch den Menschen, d. h. eine Bevorzugung bestimmter Tierarten, die für die wirtschaftlichen Bedürfnisse des Menschen besser geeignet waren als andere. Das Klima zeigte sich ferner für bestimmte Grasarten günstig; einige davon konnten sich durch planmäßige Aussaat rasch ausbreiten.

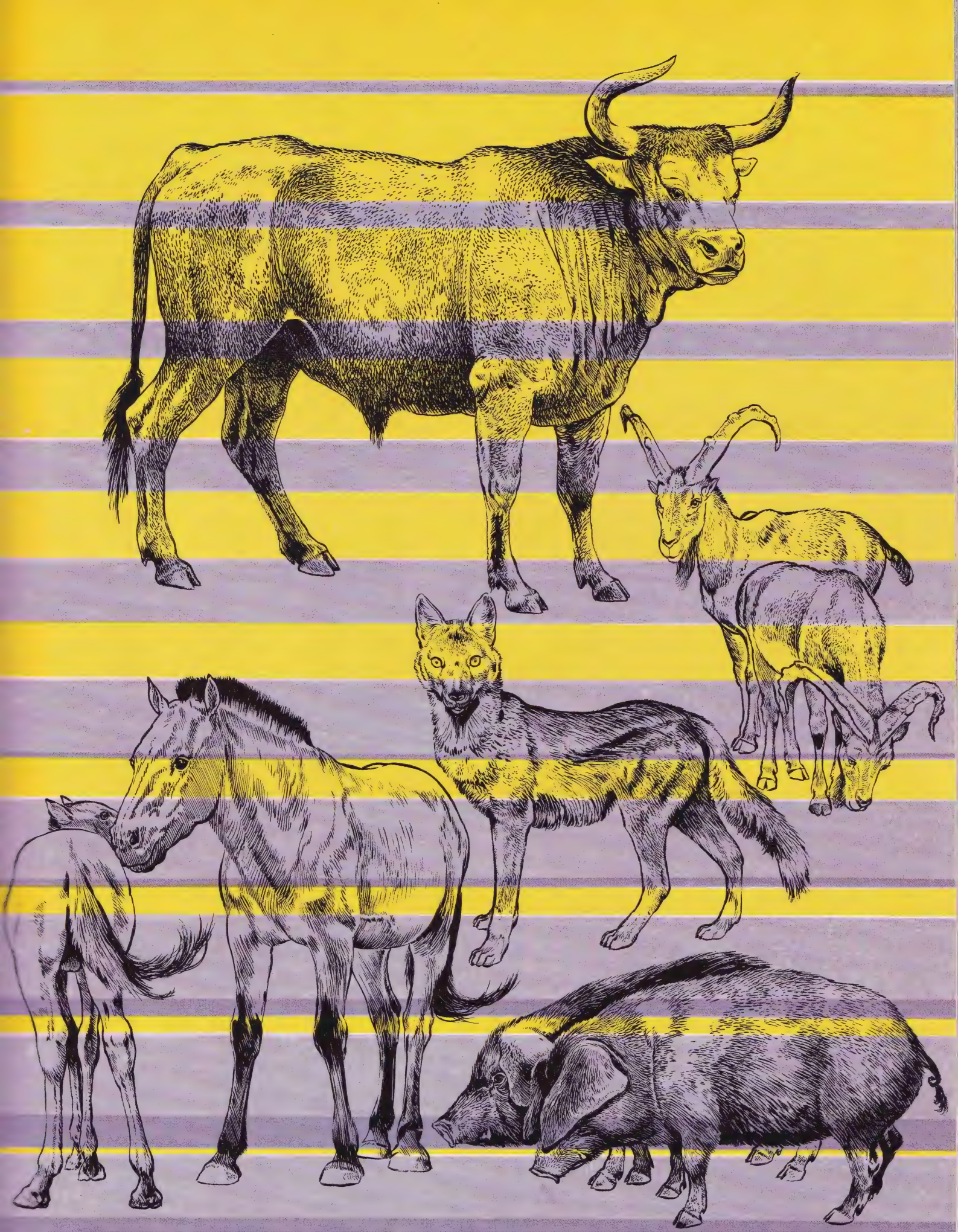
Kurzum: Die Tatsache, daß der Mensch jetzt eine aktive Rolle spielte, konnte in Verbindung mit den beträchtlichen Veränderungen in klimatischer und demzufolge auch in ökologischer Hinsicht kaum andere Folgen nach sich ziehen. Wir wollen nunmehr die hauptsächlichen Auswirkungen der Viehzucht und des Ackerbaus untersuchen, die den Übergang zum Neolithikum kennzeichneten.

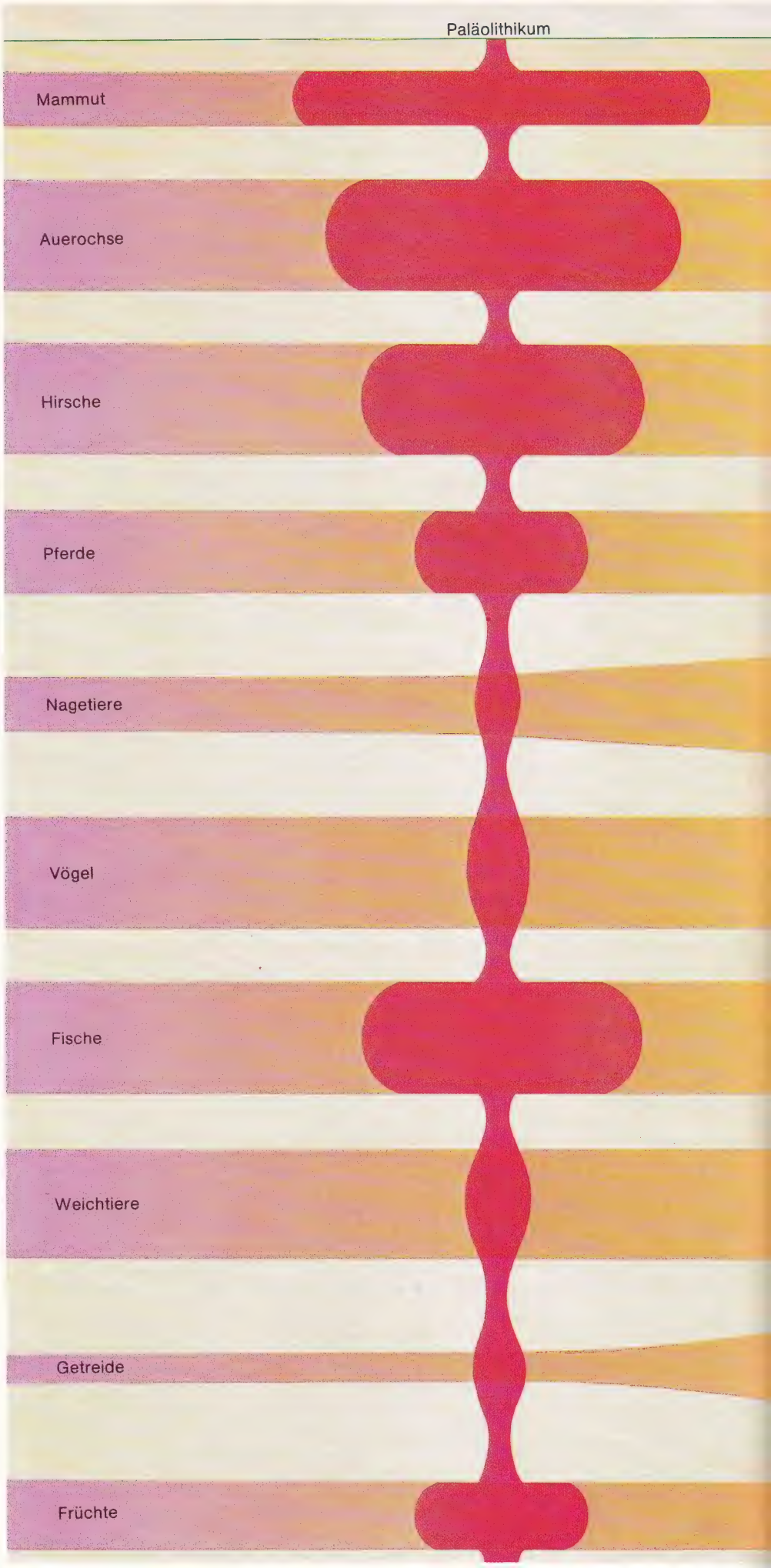
Die Domestikation

Die Viehzucht war anfangs (und ist es ja im Grunde auch heute noch) sozusagen eine Art von Symbiose, allerdings eine recht einseitige, bei der der Hauptnutzen auf Seiten des Menschen lag. Der Mensch betrachtete seinen Symbiose„partner" sozusagen von oben herab. Dabei schien er großzügig das zu gewähren, was sein „Partner" eigentlich mit Fug und Recht ohnehin beanspruchen konnte: Nahrung und Pflege etwa. Der Mensch nutzte hier eine Situation ziemlich schamlos aus, die er im Grunde gar nicht selbst herbeigeführt hatte: Das milde Klima erlaubte es ihm, seine Ansiedlungen auszudehnen. Dadurch vervielfältigten sich die Gelegenheiten, mit wildlebenden Tierarten in Kontakt zu treten: Aus dem ehrgeizigen Jäger wurde ein Tierzüchter.

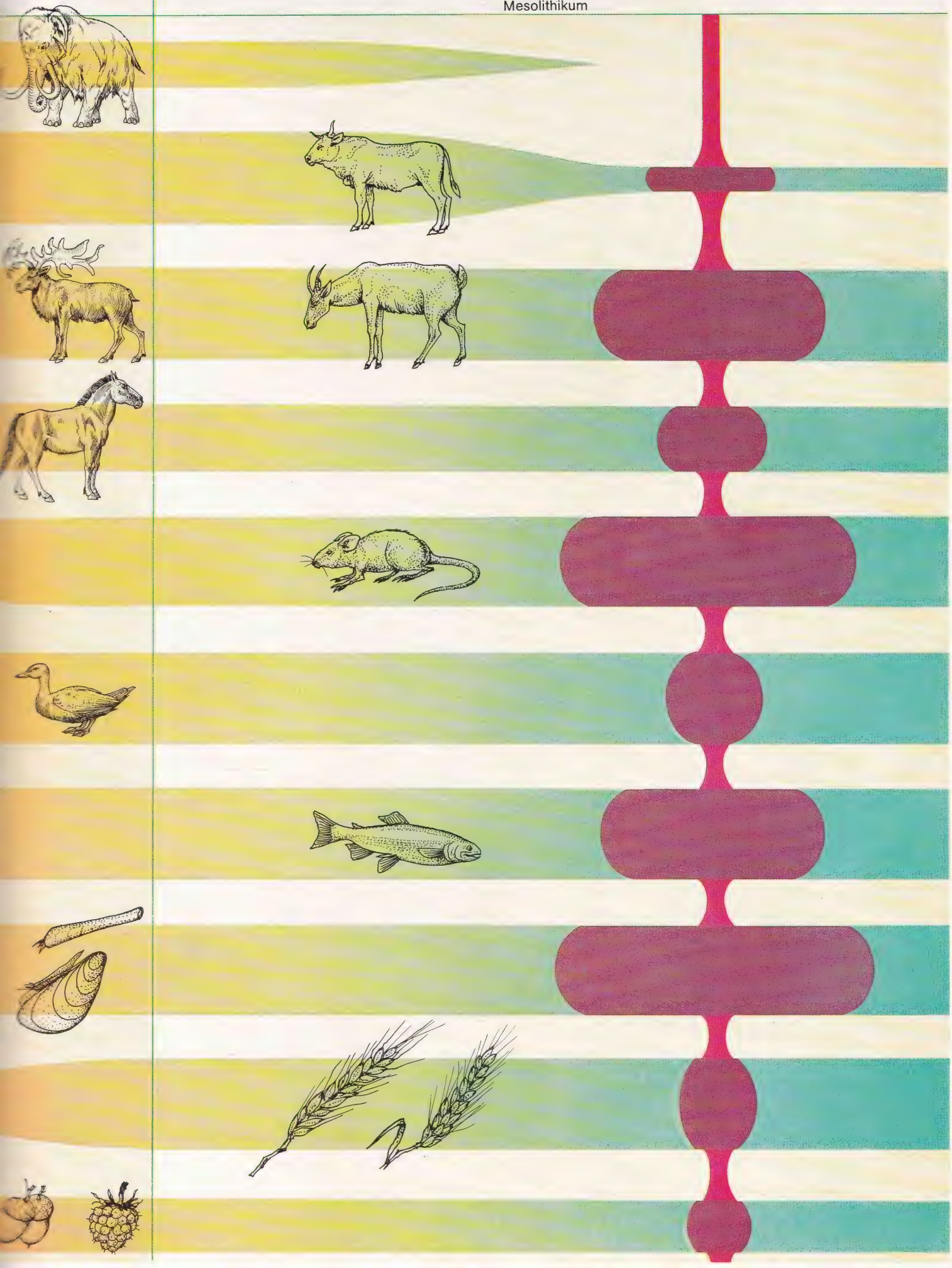
Rechts: Das Domestizieren von Tieren hatte erhebliche Auswirkungen, u. a. auch in bezug auf den Körperbau der Tiere. Ein Beispiel dafür ist die unterschiedliche Form des Schädels beim Hausschwein und beim Wildschwein. Auch hinsichtlich der Größe des Gehirns gibt es hier Veränderungen: Das Gehirn des Hausschweins machte im Unterschied zu dem des Wildschweins einen Verkleinerungsprozeß durch.







Die ökologische Krise gegen Ende des Paläolithikums zwang den Menschen, sich mit den Problemen neu zu erschließender Nahrungsquellen auseinanderzusetzen. Das Diagramm veranschaulicht die damals vorhandenen Nahrungsquellen und ihre tatsächliche Rolle im Stoffwechsel des paläolithischen Menschen und seiner mesolithischen Nachfahren. Wenn gewisse Tierarten ausstarben (z. B. das Mammut), wurden andere Arten stärker ausgebeutet (z. B. Weichtiere). Bei den Pflanzen führte dies in vielen Fällen (z. B. bei den Wildgräsern) dazu, daß der Mensch einige Arten bevorzugte und diese dann kultivierte. Der folgende Schritt in Richtung Viehzucht und Ackerbau führte den Menschen ins neolithische Zeitalter.



Die wichtigsten Haustiere und die Orte, an denen sie zuerst domestiziert wurden.

Das *Domestizieren* von Tieren hatte weitreichende Folgen. Da der Mensch nunmehr bestimmte Tieraten für die Fortpflanzung auswählen konnte, versuchte er, bestimmte Eigenschaften herauszuzüchten, die seinen eigenen egoistischen Zwecken dienlicher waren.

In freier Wildbahn kommt es vor, daß sich zwei Tierarten in einer Umgebung finden, an die sie sich anpassen müssen. Ohne Rücksicht darauf, wie weit fortgeschritten sie evolutionsmäßig sein mögen, werden beide ähnliche Mechanismen der Anpassung entwickeln, um zu überleben. Seltsamerweise geschieht das gleiche bei den „künstlichen" Evolutionsprozessen, die vom Menschen eingeleitet werden. Weil sie einen muskulösen Hund brauchten, der kräftig zubeißen, seine Beute festhalten und auch kämpfen konnte, „erfanden" die Menschen in Assyrien, in Rom und in Peru die Bulldogge.

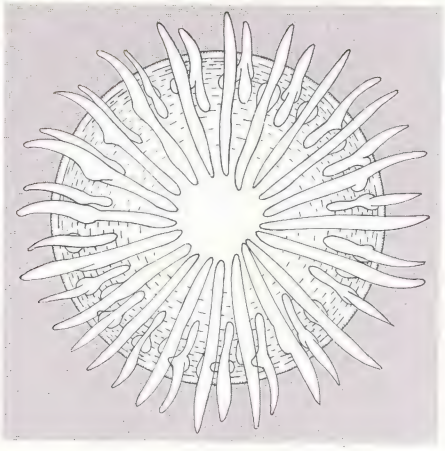
Zwischen manchen domestizierten Tieren hat sich eine Ähnlichkeit entwickelt, obwohl die wilden Ausgangsarten keinerlei Ähnlichkeit miteinander hatten. So stehen sich z. B. der Maulesel und das Hauspferd hinsichtlich Erscheinung und Verhaltensweisen viel näher als etwa der afrikanische Wildesel und das Prschewalskipferd. Andererseits gibt es oft beträchtliche Unterschiede zwischen Haustieren und ihren entsprechenden Wildformen derselben Gattung, ja sogar derselben Art (sofern

Das Schaf – das für den Menschen nützlichste Tier – fordert einen hohen ökologischen Tribut. In vielen Erdteilen ist das Weideland dürr und trocken geworden und verwandelt sich allmählich in Wüsten. Könnte das eines Tages auch in diesem Teil der Südinsel von Neuseeland Wirklichkeit werden?

die betreffende Gattung oder Art überhaupt noch als Wildform vertreten ist). Der Kopf des Wildschweins z. B. ist viel länger als der Kopf des Hausschweins. Ein typisches Zeichen der Domestikation ist gewöhnlich die Verkleinerung desjenigen Schädelteils, in dem der Geruchssinn lokalisiert ist.

Sehr viel komplexer sind die Auswirkungen der Domestikation in bezug auf die Gehirnmasse: Die Domestikation führt immer zu einer Verkleinerung des Schädelvolumens. Häufig verkleinern sich auch die Gehirnfalten und -windungen. Das bedeutet, daß die Fähigkeiten des betreffenden Tiers, mit unerwarteten Krisen fertig zu werden oder auf plötzliche Reize angemessen zu reagieren, mit der Domestikation weitgehend verkümmern. Ein domestiziertes Tier ist zwar nicht weniger intelligent als ein wildes; aber es ist weniger „aufgeweckt", weniger auf der Hut vor eventuellen Gefahren und weniger bereit, diesen zu trotzen. Seine Chance, in der freien Wildbahn zu überleben, hat sich dank der eigennützigen „Hilfe" des Menschen erheblich verringert. Stellen wir uns z. B. eine Hauskatze vor, die gezwungen ist, herumzustreunen: Eine solche Katze wird es schwer haben, vom Mäusefang zu leben. Sie wird andererseits lange Zeit eher Hunger erdulden, als sich entschließen, irgendwelche Nahrungsreste von der Straße aufzunehmen. Selbst für

Unten: Der Kopf eines Parasiten (Taenia pisiformis), der gewöhnlich Hunde, aber nicht den Menschen befällt. Bei anderen Arten (wie z. B. dem Echinococcus granulosus) besteht die Möglichkeit, daß der Mensch sich infiziert, wenn er mit dem kranken Tier Kontakt hatte. Durch das Domestizieren von Tieren ist der Mensch für deren Parasitenkrankheiten anfälliger geworden, die oft auf ihn übertragen werden.



Tiere, die genaugenommen nicht „zahm" sind, die aber in Gefangenschaft geboren wurden, wäre eine Rückkehr in die Freiheit höchst problematisch. Ein entsprechend „belastetes" Eichhörnchen z. B. würde eine Haselnuß zwischen seinen Vorderpfötchen halten und sie immer wieder herumdrehen, ohne zu wissen, wie es die Schale der Haselnuß öffnen sollte, es sei denn, es hätte diesen Vorgang bei einem anderen Eichhörnchen beobachtet.

Das Schaf, ein Abkömmling verschiedener Mufflon- und Argaliarten, wird seit rund 11 000 Jahren vom Menschen gegen seine natürlichen Feinde geschützt und gehätschelt. Als Folge davon werden alle im Wald lebenden Tiere indirekt geschädigt. Um die Schafzucht zu fördern, holzte der Mensch Wälder ab und machte aus dem Waldboden Weideland. Dieses Vorgehen gefährdete die im Wald lebenden Tierarten, die einst vom Menschen als Wild gejagt wurden.

In dieser Tatsache, daß durch die Domestikation allzuoft Einbußen in jagdlicher Hinsicht hingenommen werden mußten, ist vielleicht der Grund dafür zu sehen, daß einige Kulturen sich weigern, den ersten und entscheidenden Schritt zum Domestizieren von Tierarten zu machen. Sie fürchten sich instinktiv davor, eine Einbahnstraße zu betreten. Eine Tierart der Züchtung zu unterwerfen, bedeutet ja in der Tat, diese Tierart zum Aussterben zu verurteilen, falls aus irgendeinem Grund die Zucht später aufgegeben wird. Aber unter den Zwängen der neolithischen Ökonomie mußte sich der Mensch immer mehr festlegen, auch wenn sich die Tierzucht als Einbahnstraße herausstellte.

Unterstützt durch die günstigen klimatischen Bedingungen, nutzte der Mensch einige der ökologischen Mißstände aus. Er hielt sie bewußt aufrecht, indem er das Gleichgewicht in den grundlegenden Beziehungen dieses Ökosystems zu seinen Gunsten verschob. Daß sich manche Tierarten stark vermehren durften, hatte zur Folge, daß andere in eine Krise gerieten, was wiederum auf die bevorzugten Arten zurückwirkte. Wir erwähnten in diesem Zusammenhang bereits die Abnahme der Reaktionsfähigkeit. Es sei jedoch ausdrücklich darauf hingewiesen, daß darüber hinaus die starke Vermehrung einer Tierart die Entwicklungsmöglichkeiten dieser Art verringert. Infolgedessen würde zwangsläufig jede Haustierart ohne die regulierende Zuwendung des Menschen in eine gegenüber den Wildformen fatale Situation kommen.

Durch die Domestikation entstand eine Reihe neuer Beziehungen zwischen dem Menschen und anderen Tieren. In präneolithischen Zeiten waren menschliche Siedlungen möglicherweise frei von all jenen Insekten, die das Rindvieh heimsuchen. Auch die parasitierende Zecke, die später durch den Hund auf den Menschen übertragen wurde, war wohl damals noch unbekannt. Die menschlichen Eingeweide waren frei von den schmarotzenden Würmern, die der Mensch später ahnungslos durch den Verzehr von Rind- und Schweinefleisch aufnahm. Die Tiere selbst in ihrem neuen, nunmehr eingeengten Lebensraum waren natürlich viel anfälliger für Parasiten als in freier Wildbahn. Indem also der Mensch seine Nahrung selbst zu produzieren begann, begünstigte er gleichzeitig Parasiten, für die er nachher selbst anfällig wurde.

Der Ackerbau

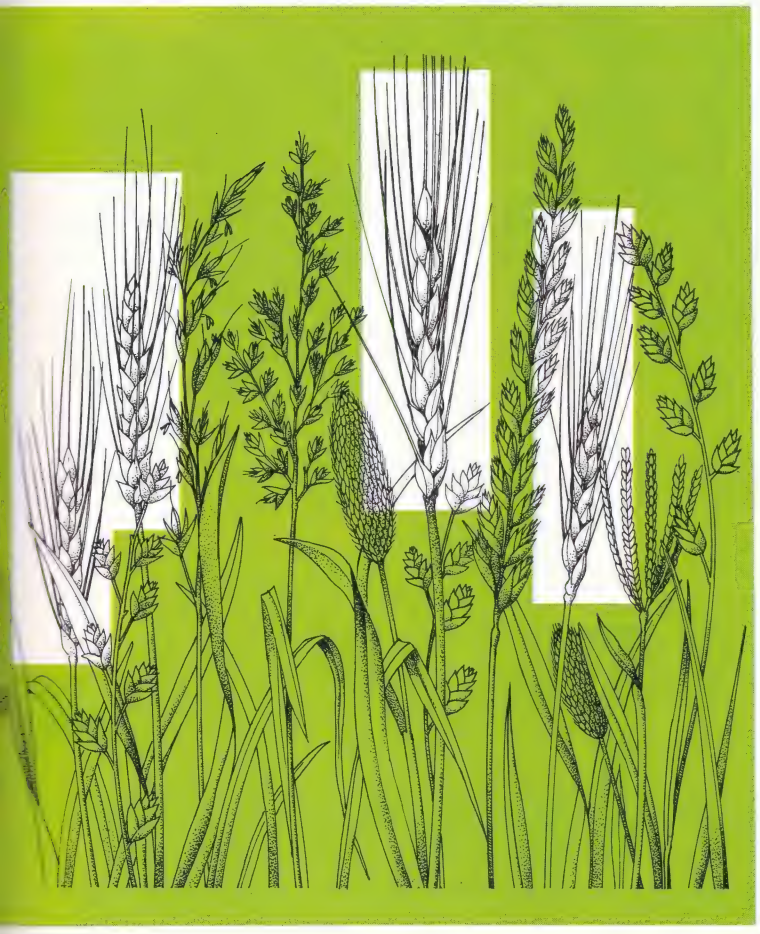
Für den Menschen war die Entscheidung, Land zu kultivieren, ein weitaus kühnerer und risikoreicherer Schritt als die Entscheidung, Tiere zu züchten. Hatte er es doch jetzt mit einem Bereich der belebten Welt zu tun, der sich von seiner eigenen Welt beträchtlich unterschied: der

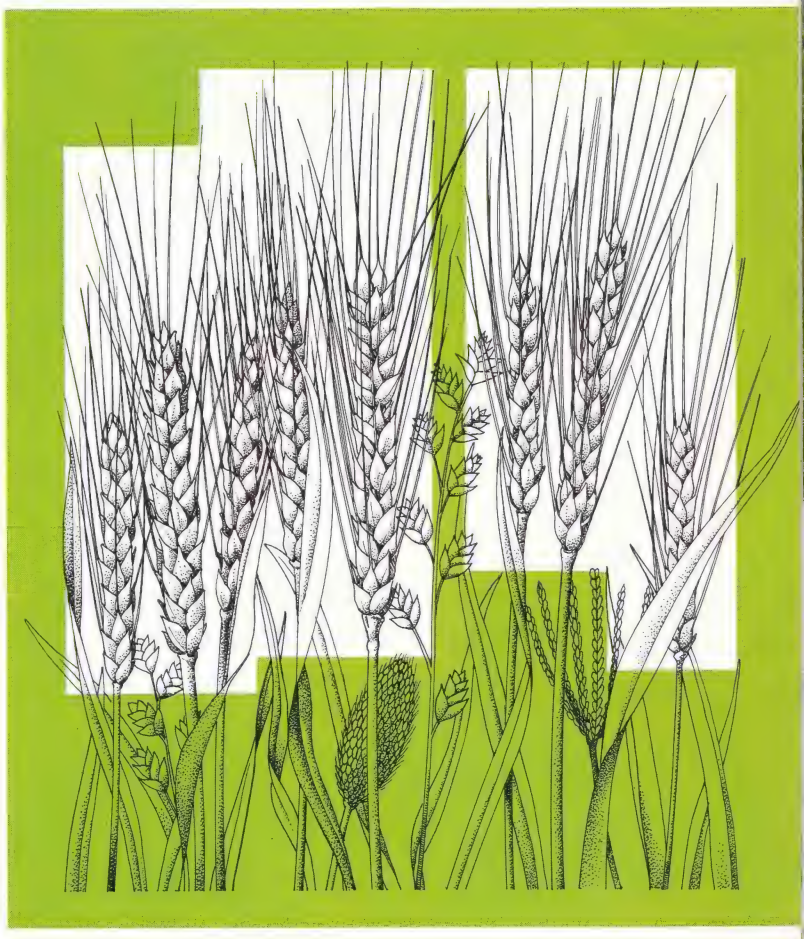
Pflanzenwelt. Es begann damit, daß er zuerst einmal den Jahreszyklus der Pflanzen beobachtete und aufhörte, das Reich der Pflanzen lediglich als eine Art häufig wechselnder Kulisse zu betrachten. Der Mensch begriff allmählich, daß die Pflanzen Wesen eigener Art waren, einer anderen Art zwar als er selbst, daß sie aber gleichwohl lebten und sich vermehrten wie alle anderen Lebewesen um ihn herum.

Die Eingriffe des Menschen in seine pflanzliche Umwelt hatten insgesamt erheblich weiterreichende ökologische Folgen als sein erwachendes Interesse an der Viehzucht. Diese waren zwar als solche im frühen Neolithikum wohl noch nicht erkennbar; betrachten wir jedoch die großen Flußkulturen, die sich bald darauf entwickelten, dann ist nicht zu übersehen, wie vieles hier sehr folgenreich zusammenkam.

Um den Boden bebauen zu können, muß man zunächst ein geeignetes Terrain finden. Nach und nach fand der Mensch, was er brauchte. Er entfernte das „Unkraut" – jene Pflanzenformen, die er nicht als Nahrung schätzte – und baute nur diejenigen Pflanzen an, die er schon vorher für diesen Zweck ausgewählt hatte. Doch unter dem „Unkraut" befanden sich vielleicht auch Büsche oder Bäume (erinnern wir uns nur an die früher erwähnte Brandrodungstechnik!), Pflanzen also, die, obwohl der Mensch sie für nutzlos und uninteressant hielt, für viele Tierarten wichtig waren. Die aus dem kultivierten Land vertriebenen Tiere suchten woanders Zuflucht. In ihrem neuen Revier jedoch

Unten: Von den vielen einfachen Gräserarten wurde der Weizen vom Menschen am meisten bevorzugt. Er wird geschnitten, geerntet und dann wieder angebaut und ist im Laufe der Zeit die wichtigste Nahrungspflanze geworden.





bedeutete ihre Anwesenheit eine Zunahme der dortigen Tierpopulationen, d. h. eine Belastung sowohl für die angestammten Pflanzen als auch für die übrigen Tiere der Gegend. Eine solche Gleichgewichtsstörung, anfangs nützlich und entsprechend ausgenutzt, griff schließlich auch auf unberührte Areale über.

Eines der ersten Ergebnisse der regelmäßigen Bodenbearbeitung war die Tatsache, daß die angebauten Getreidearten größer und die Ernten reicher wurden. Vergleichen wir die kümmerlichen Ähren des Wildweizens mit denen des angebauten Weizens oder etwa Maiskolben vor und nach einer züchterischen „Behandlung", dann erkennen wir deutlich, was für einen Fortschritt der Ackerbau für die Menschheit bedeutete. Gezüchtete Weizenähren hatten eine größere Anzahl von Körnern, und die Körner selbst waren größer. Ein Vergleich des Ertrags aus einem Flecken mit wildwachsendem Weizen mit dem Ertrag eines vom Menschen bestellten Weizenfeldes erbrächte wahrscheinlich ein Verhältnis von 1 : 10 000. Bei einigen der freigelegten Siedlungen konnte man alle Stadien der Kultivierung von Weizen, Gerste und Mais im einzelnen studieren. Die ganze Entwicklung dauerte wahrscheinlich nicht länger als 2 000 Jahre.

Wildpflanzen vermehren sich auch unter ungünstigen Bedingungen. In kritischen Zeiten können sie ihre Lebensäußerungen extrem reduzieren und „überwintern" in diesem Zustand, bis die Bedingungen zum Wachstum wieder günstiger sind. Pflanzliche Samen benötigen Feuchtigkeit und Dunkelheit, um zu keimen. Gezüchtete Pflanzen werden unter Bedingungen angebaut, die Perioden reduzierter Lebenstätigkeit ausschalten, um den Samen so schnell wie möglich zum Keimen zu bringen. Bei vielen Pflanzen keimen die Samen erst ein Jahr, nachdem sie in den Erdboden gelangten. Mit solchen Pflanzen gab der Mensch sich gar nicht weiter ab. Er bevorzugte vielmehr diejenigen, die noch im Jahr der Aussaat keimten. Durch den Einsatz weiterer zusätzlicher Mittel, vor allem des Wassers, gelang es ihm, die Zeitspanne zwischen Aussaat und Keimen dauerhaft zu verkürzen.

Da gezüchtete Pflanzen etwas größer als ihre wildwachsenden Verwandten sind, sind im allgemeinen ihre Lebensfunktionen verlangsamt. Entsprechend kann sich ihre Lebensdauer verlängern; aus einjährigen Arten können zweijährige werden, was offenbar sehr vorteilhaft ist. Das Vorhandensein von Wasser ist dabei eine unentbehrliche Voraussetzung. Im frühen neolithischen Zeitalter war die Bewässerung Sache der atmosphärischen Gegebenheiten. Danach nahmen die Menschen sich ihrer an. Sie leiteten Wasserläufe um, errichteten Staubecken und nutzten das Bodenwasser, v. a. in Flußnähe, total aus. Dies alles bedeutete natürlich eine tiefgreifende Veränderung der lokalen Ökosysteme.

Gebiete mit stehendem Wasser zu schaffen, war sicher günstig für Lebensformen, die in nichtfließenden Süßgewässern gedeihen. Die Sumpfgebiete im Orient z. B. wurden damals manchmal als Wasserreservoire für den Getreideanbau genutzt. Diese Sumpfgebiete wurden bevorzugt von manchen Weichtierarten besiedelt, die als Wirtstiere für Saugwürmer dienten, welche *Bilharziose* verursachen. Über das Wasser erreichten diese Würmer dann den Menschen und infizierten ihn. Die gefürchtete Krankheit, die diese Parasiten erzeugen, wird nicht ohne Grund im Volksmund „Mumienkrankheit" genannt: Zysten solcher Würmer wurden in über 4 000 Jahre alten ägyptischen Mumien gefunden.

Einige der wichtigsten Nahrungspflanzen und die Orte, an denen sie erstmals angebaut wurden.

Die Menschen hatten jetzt feste Wohnsitze und waren keine Nomaden mehr. Die Bevölkerung nahm fortwährend zu, und mit dem Bevölkerungszuwachs wuchs auch der Drang des Menschen, neues Ackerland zu gewinnen. So nahm er systematisch neues Land in Besitz.

Die „Erfindung" des Ackerbaus störte das ökologische Gleichgewicht in den kultivierten Gebieten. Wo für das Vieh nur relativ kleine Flächen nötig waren (wir erfuhren bereits, daß die Pferche, die niemals größer als ein Dorf waren, manchmal in dessen unmittelbarer Umgebung lagen), erforderte der Ackerbau ein weitaus größeres Gebiet. Das ökologische Ungleichgewicht wurde verstärkt durch die Umleitung von Wasserläufen: Was nun dem einen Gebiet zugute kam, fehlte in anderen Gebieten, die nunmehr ausdörrten.

Die Dörfer und die ersten Städte

Neolithische Siedlungen bestanden nicht mehr aus Lagern oder verstreut liegenden Hütten. Auf Zypern fanden wir eine Stadt mit mehreren hundert Häusern. Innerhalb dieser städtischen Zentren müssen die zwischenmenschlichen Beziehungen sehr vielgestaltig gewesen sein im

Vergleich zu den einfachen Kontakten innerhalb der kleinen paläolithischen Gemeinschaften. Während die gesellschaftlichen Beziehungen komplizierter wurden, wurde das Sippengefühl schwächer, die Familienbande dagegen wurden stärker betont. Dies führte im Laufe der Zeit zu einer genau festgelegten Einteilung und Zuweisung der verschiedenen Aufgaben. Eine Art Hierarchie entwickelte sich in den Stadtgemeinschaften. Wo es größere Kornvorräte gab, mußten natürlich auch Leute beauftragt werden, diese zu verwalten. Vielleicht gab es auch eine *Priesterschaft,* die von der Gemeinde ermächtigt wurde, das Ritualleben zu überwachen, und deren Vertreter später zu „Machthabern" wurden. In den Teilen der Erde, wo es megalithische Bauwerke gab, verschmolzen das Amt des Priesters und das des Astrologen, z. B. zu dem Amt des *Weisen.*

Zwischen den verschiedenen Besiedlungszentren entwickelten sich ausgedehnte Handelswege. Entlang diesen Handelswegen verbreitete sich die Keramik sowohl im ganzen Mittelmeerraum als auch über große Teile Europas und des Nahen Ostens.

In vielen Städten weisen Befestigungsanlagen darauf hin, daß die Bewohner in ständiger Angst vor Angriffen auf ihre Errungenschaften und besonders auf ihre Lebensmittelvorräte lebten. Viele Bräuche der damaligen Zeit, z. B. rituelles Köpfen, lassen uns vermuten, daß kriegsähnliche Zusammenstöße häufig waren. Gewöhnlich pflegten die Städte freundlichen Kontakt miteinander und tauschten Keramiken und Nahrungsmittel aus, wenn es sich als nützlich erwies. Sie scheuten jedoch kriegerische Auseinandersetzungen nicht, wenn ihre Interessen dies geboten.

Trotz der kriegerischen Zwischenfälle muß das Leben in den neolithischen Dörfern im allgemeinen ziemlich friedlich gewesen sein. Jeder hatte seine täglichen Pflichten, und wahrscheinlich war jedes Dorf ganz und gar autonom. Wolle oder pflanzliche Fasern wurden gesponnen; Stoffe wurden gewebt. Kunst- und Gebrauchsgegenstände wurden aus Ton geformt, verziert und gebrannt. Suppe wurde zubereitet, Fleisch wurde gebraten, das Essen mit dem Öl verschiedener Samensorten gewürzt. Die Herden wurden auf die Weide außerhalb des Dorfs getrieben. Die Felder wurden bestellt, Getreide wurde gesät und geerntet. In den Küstensiedlungen florierte der Fischfang. Kleine Boote aus Papyrus oder anderen Binsenarten – sei es in Form großer, geflochtener Körbe, sei es in Form von Pirogen (einer Art von Einbäumen) – dienten dem Handel.

Ein friedliches Leben, allem Anschein nach, ohne Furcht vor dem Hunger, weil es auf einer Wirtschaftsform beruhte, die dazu geeignet war, alle notwendigen Lebensmittel selbst zu erzeugen. Mit diesem friedlichen Leben entfernte sich der Mensch allmählich immer weiter von dem Tag, an dem er die wichtigste Entscheidung in seiner biologischen Existenz getroffen hatte: dem Tag der Menschwerdung.

Am Ende des Neolithikums waren viele Dörfer zu städtischen Agglomerationen geworden. Es gab bereits Gebäude mit spezifischen Funktionen. In der Mitte des Dorfs befanden sich oft Opfersteine.

Vom Stein zum Metall

Allerlei Rechenexempel

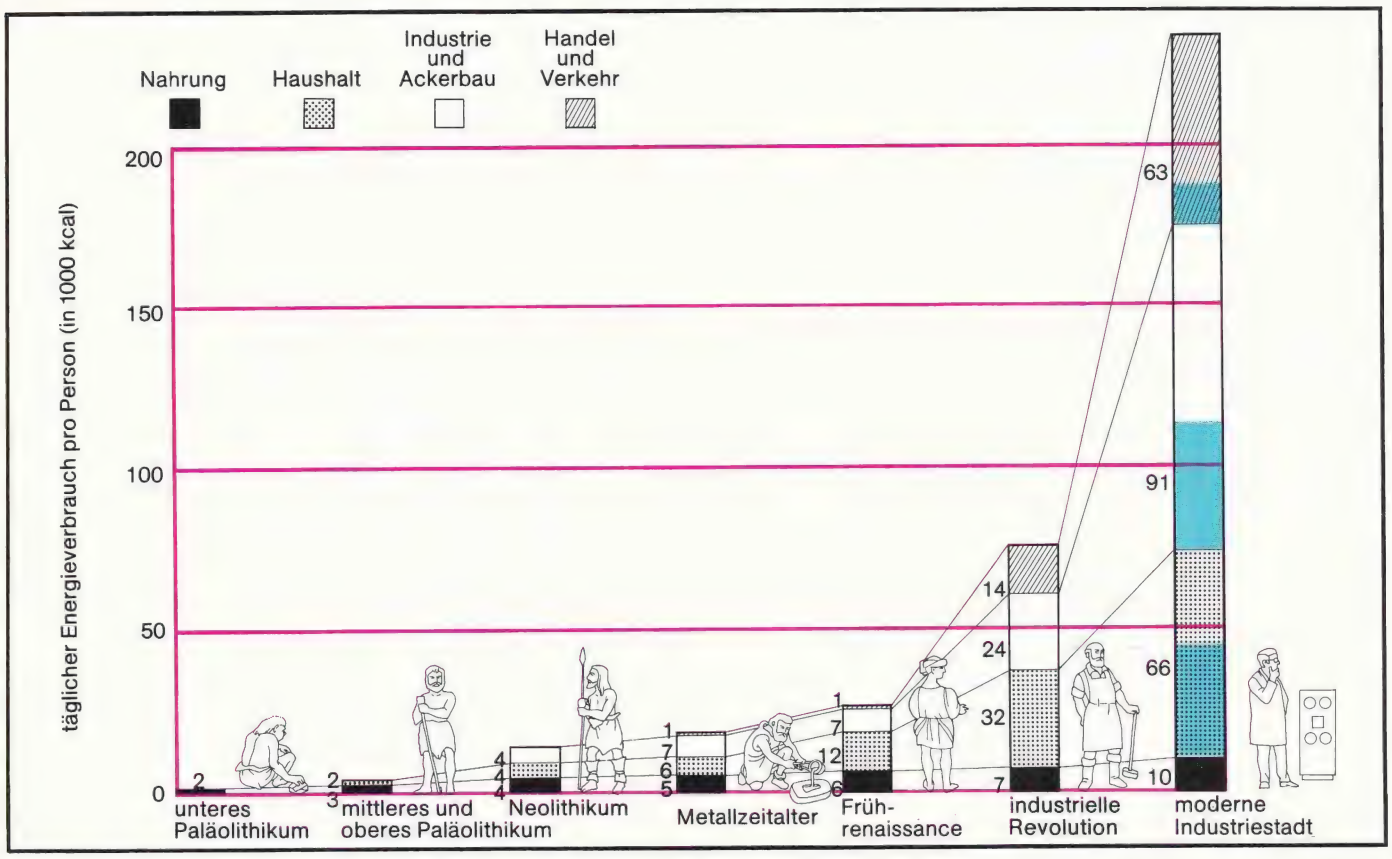
Der Riesenschritt, den der Mensch im Laufe der neolithischen Revolution machte, gilt als eine der größten ökologischen Umwälzungen, die von diesem dynamischen, vielseitigen Primaten in der Natur ausgelöst wurden. Die „Hilfe", die der Mensch verschiedenen Pflanzen- und Tierarten zukommen ließ, um sie kultivieren bzw. domestizieren zu können, hatte die unmittelbare Änderung eines seit Jahrtausenden bestehenden Gleichgewichts zur Folge. Wie alle anderen Organismen kämpfte auch der Mensch ums Überleben. Wir können die Schwierigkeiten mit einem einzigen Wort umschreiben: *Hunger*.

Zwar war der Alptraum des Verhungerns fürs erste gebannt. Aber die Zahl der Menschen wuchs in der Folge in solcher Weise an, daß ihre ausreichende Versorgung mit Nahrungsmitteln eben doch gefährdet zu sein schien. Wir haben es hier mit einem uralten, sich immer wiederholenden Teufelskreis zu tun: Weil die Anzahl seiner Artgenossen ständig zunahm, mußte der Mensch seine Umwelt immer massiver und rücksichtsloser ausbeuten.

Wir können heute nur sehr schwer abschätzen, wieviel Menschen es jeweils in den verschiedenen Zeitaltern unserer Vergangenheit gab. Trotzdem gibt es natürlich einige Versuche in dieser Hinsicht. So nimmt man z.B., indem man von entsprechenden heutigen Populationen unter ähnlichen Lebensbedingungen (speziell im Hinblick auf Werkzeuge und Nahrungsreserven) ausgeht, an, daß auf den Britischen Inseln während des gesamten Paläolithikums nur etwa rund 250 Menschen gelebt haben. Zu dieser Zahl kommt man auf Grund eines Vergleichs verschiedener primitiver Gemeinschaften im heutigen Nordaustralien.

Auf der Basis dieser geschätzten Zahl kann man nun eine Hochrechnung für alle bewohnten Gegenden der damaligen Zeit (die als solche ja bekannt sind) wagen. Die Ergebnisse werden noch genauer, wenn man die hochgerechnete Zahl mit den Zahlen vergleicht, die man durch entsprechende stufenweise Reduktion bekannter historischer Zahlen erhält. Im Ergebnis kommt man für die Altsteinzeit auf eine geschätzte *Gesamtbevölkerung* der Erde von rund acht Millionen Menschen. Im Mesolithikum, das für alle Lebewesen härteste Lebensbedingungen

Während im Nahen Osten die großen Flußzivilisationen entstanden, gab es in vielen anderen Teilen der Alten Welt (besonders in Europa) Kulturen, in denen der Gebrauch von Metall zu keiner wesentlichen Änderung der neolithischen Lebensweise führte. Allerdings wurden die Methoden des Ackerbaus und der Viehzucht immer weiter entwickelt – eine Folge der ständig größer werdenden Rolle der Gemeinschaft im menschlichen Leben. Städte mit Häusern aus Ziegelsteinen waren in diesen Gegenden völlig unbekannt. Es gab vielmehr Dörfer mit Hütten, die im Uferbereich von Seen manchmal auf von Pfählen getragenen Plattformen errichtet worden waren. Gegenstände für den Alltag waren noch ziemlich primitiv gearbeitet, aber stets sehr praktisch. In den Torfsümpfen fand man mehrere Pirogen, die noch intakt waren und einiges über die Geschicklichkeit der damaligen „Züchterbauern" verrieten.



Die Menschen des unteren Paläolithikums wendeten für ihren persönlichen Bedarf pro Tag und Kopf Energie in Höhe von rund 2000 kcal (= 8,38 kJ) auf. Diese Energie bezogen sie ausschließlich aus der Nahrung. Im mittleren und oberen Paläolithikum erhöhte sich der entsprechende Energiekonsum auf täglich rund 5000 kcal (3000 kcal davon aus der Nahrung, 2000 aus dem Feuer, das für verschiedene Zwecke verwendet wurde). Im Neolithikum verbrauchte der einzelne Mensch durchschnittlich bereits rund 12000 kcal täglich an Energie (4000 aus der Nahrung, 4000 aus dem Feuer und 4000 aus Ackerbau und Viehzucht). Zu Beginn des Metallzeitalters stieg der Energiekonsum auf rund 19000 kcal täglich an (5000 aus der Nahrung, 6000 aus häuslichen Verrichtungen, 7000 aus Landwirtschaft und Industrie, 1000 aus Handel und Verkehr). Der Energiekonsum nahm also bis zum Zeitalter der großen Entdeckungsreisen ständig zu. Während der industriellen Revolution stieg er gewaltig an und erreicht in unserer Zeit eine schwindelerregende Höhe. Heute besteht ein großer Teil der vom Menschen verbrauchten Kalorien aus elektrischer Energie.

brachte (einige Arten wie das Mammut starben hier ja bekanntlich ganz aus), wird die Gesamtbevölkerungszahl sicher geringer gewesen sein, um dann im Neolithikum wieder anzusteigen. Im frühen Neolithikum gab es auf unserem Planeten schätzungsweise rund 12 Millionen Menschen.

Ähnliche Rechenexempel können wir bezüglich des täglichen *Energieverbrauchs* anstellen. Die Frühmenschen (der Homo erectus auf Java etwa) „verbrauchten" pro Kopf und Tag Energie in Höhe von rund 2000 kcal (= 8,38 kJ), die sie fast ausschließlich aus ihren Nahrungsmitteln schöpften. Die Jäger des mittleren und oberen Paläolithikums brachten es im Schnitt auf einen täglichen Energieverbrauch von rund 5000 kcal, von denen ca. 3000 in ihrer Nahrung (Fleisch und gesammelte Pflanzen) und ca. 2000 im Feuer enthalten waren. Jetzt wurde das Feuer u. a. schon bei der Jagd benutzt und diente dem Schutz der menschlichen Lager (Fackeln wurden etwa angezündet, um Beutetiere leichter zu verfolgen oder um nächtliche Raubtiere zu verscheuchen).

Im Neolithikum stieg der Energieverbrauch auf rund 12000 kcal pro Kopf an. Davon entfielen rund 4000 kcal auf die Nahrung, weitere 4000 auf den häuslichen Gebrauch des Feuers (man hatte bereits begonnen Getreidekörner zu kochen und Brot zu backen) und die restlichen auf Ackerbau und Viehzucht (Nahrung für die domestizierten Tiere, die bald zur Arbeit auf den Feldern gezwungen wurden und wenig später auch als Beförderungsmittel und somit im Handel eingesetzt wurden). Der tägliche Energieverbrauch hatte sich also vom Paläolithikum zum Neolithikum verdreifacht. Die Ansprüche des Menschen waren jetzt viel größer als in der vorhergehenden Periode. Nicht nur waren die Bedürfnisse jedes einzelnen sprungartig angestiegen. Es sind vielmehr

auch die wachsenden Bedürfnisse der Gemeinschaft zu bedenken, die jetzt „städtische" Züge annahm.

Ursprünglich hatte sich der Mensch noch bemüht, die Erde zu einer Art von „Zusammenarbeit" zu bewegen. Seine frühesten Versuche, den Boden zu bebauen, liefen Bemühungen parallel, seinen Viehbestand zu vermehren und seine Vorräte an Nutzpflanzen verfügbar zu machen. Dies alles wandelte sich jetzt. Das Verhalten des Menschen nahm zusehends unduldsame und gewalttätige Züge an. Diese kritische Betrachtung des Verhaltens unserer Vorfahren zeigt zugleich, daß die ackerbautreibenden Gemeinschaften sehr bald einen Punkt erreicht haben mußten, an dem der Erwerb neuen Bodens für Bebauung und Viehzucht notwendig wurde.

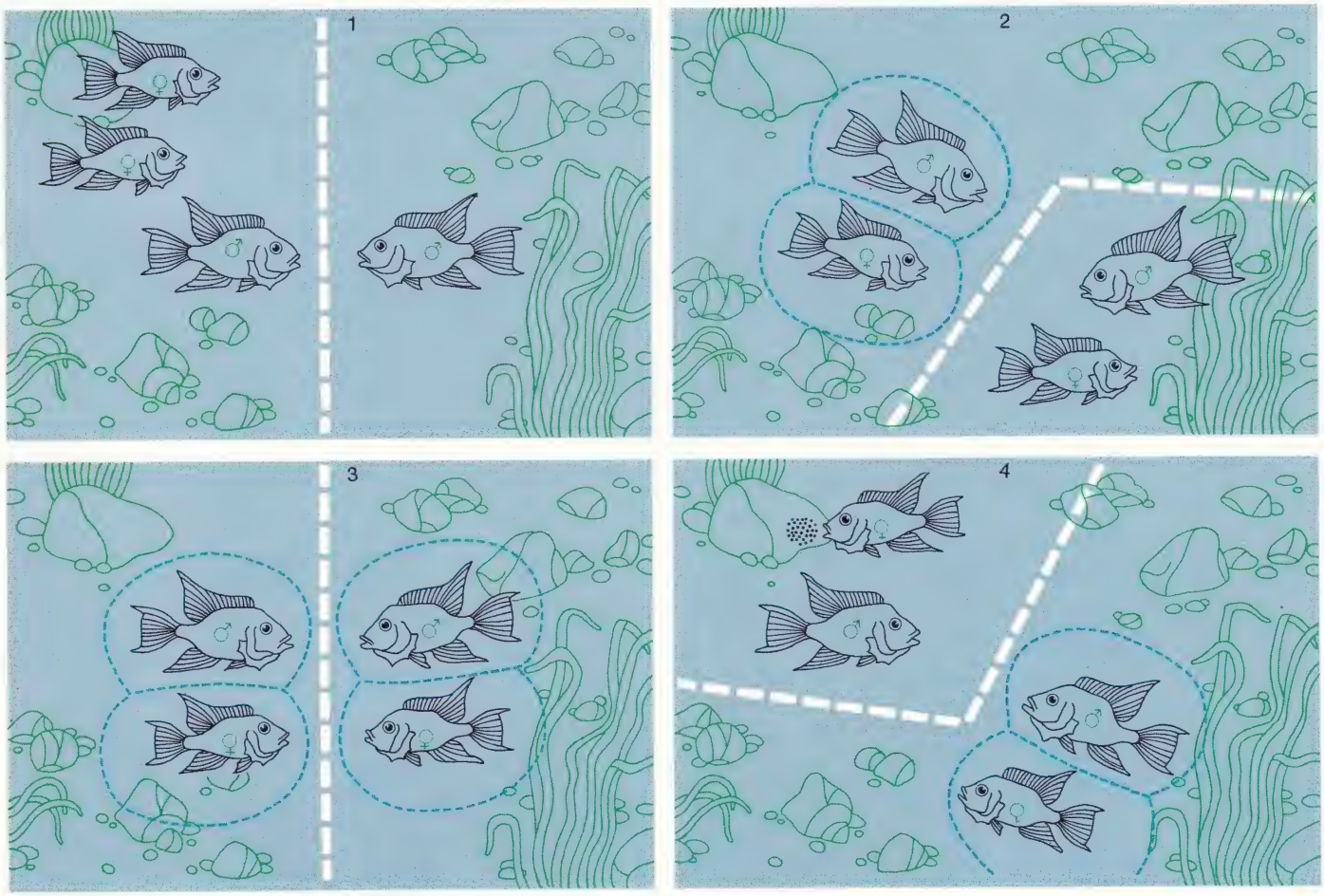
Das Nomadenleben war eine der beiden großen Alternativen, die dem Menschen offenstanden, als er begann, seine Nahrung selbst zu produzieren. Auf dem Foto ein Nomadenstamm in der marokkanischen Sahara.

Zwei Alternativen

Um dieses Problem zu lösen, gab es v. a. zwei Hauptmöglichkeiten: Bildete das Vieh die Hauptnahrungsquelle einer Gemeinschaft, dann entschied sich die betreffende Gemeinschaft meist für ein *Nomadenleben.* Dies war zwar nicht ohne Risiko; solange es jedoch in einem Gebiet genug Weideland für die Schaf- und Rinderherden gab, ging alles gut; nach einem kurzen Aufenthalt wurde das Lager aufgehoben, und die Gruppe zog weiter, bis sie einen anderen geeigneten Ort erreichte, der noch nicht abgegrast war. Gründete sich andererseits der „Wohlstand" der Gemeinschaft vorwiegend auf den Ertrag des Ackerbaus, dann wurden die Siedlungen dauerhafter angelegt. Mit der Zeit entwickelten sich diese zu richtigen Dörfern mit Hütten aus Lehmziegeln und noch später zu regelrechten Städten.

Jedenfalls befanden sich die ersten stadtähnlichen Siedlungen von Bedeutung immer inmitten kultivierter Gebiete, wo bestimmte Flächen der Viehzucht überlassen wurden, so daß beide Wirtschaftsformen nebeneinander betrieben werden konnten. Während sich also eine städtische Wirtschaft sehr wohl auf Viehzucht und Ackerbau gründen kann, gibt es für Nomadenvölker keine solche Alternative. Infolgedessen waren die „Stadtbewohner" gezwungen, ihre Siedlungen durch starke Mauern und Wachtürme zu schützen, da ihre prall gefüllten Scheunen einen mächtigen Anreiz auf die Nomaden ausübten, die sich auf die Zufälligkeiten der unsicheren Viehzuchtwirtschaft verlassen mußten.

Der Lebensraum eines Tieres hängt von vielen Faktoren ab, besonders von den verschiedenen Phasen seines Geschlechtslebens. Das Diagramm veranschaulicht das Verhalten eines Buntbarschs der Gattung Cichlasoma, wie es in einem Aquarium beobachtet wurde: 1 Die beiden Fischmännchen und -weibchen haben sich noch nicht gepaart. Der Lebensraum ist für alle vier Individuen noch gleich groß. 2 Jetzt hat sich ein Pärchen zusammengetan und vergrößert seinen Lebensraum, der oft heftig verteidigt wird. 3 Beide Paare haben sich verbunden. Ihr Lebensraum ist wieder gleich groß. 4 Ein Weibchen hat seine Eier abgelegt. Der Lebensraum des betroffenen Paars wird jetzt dadurch eingeengt, daß das Weibchen sich ausschließlich um das Gelege kümmert und für die Revierverteidigung ausfällt.

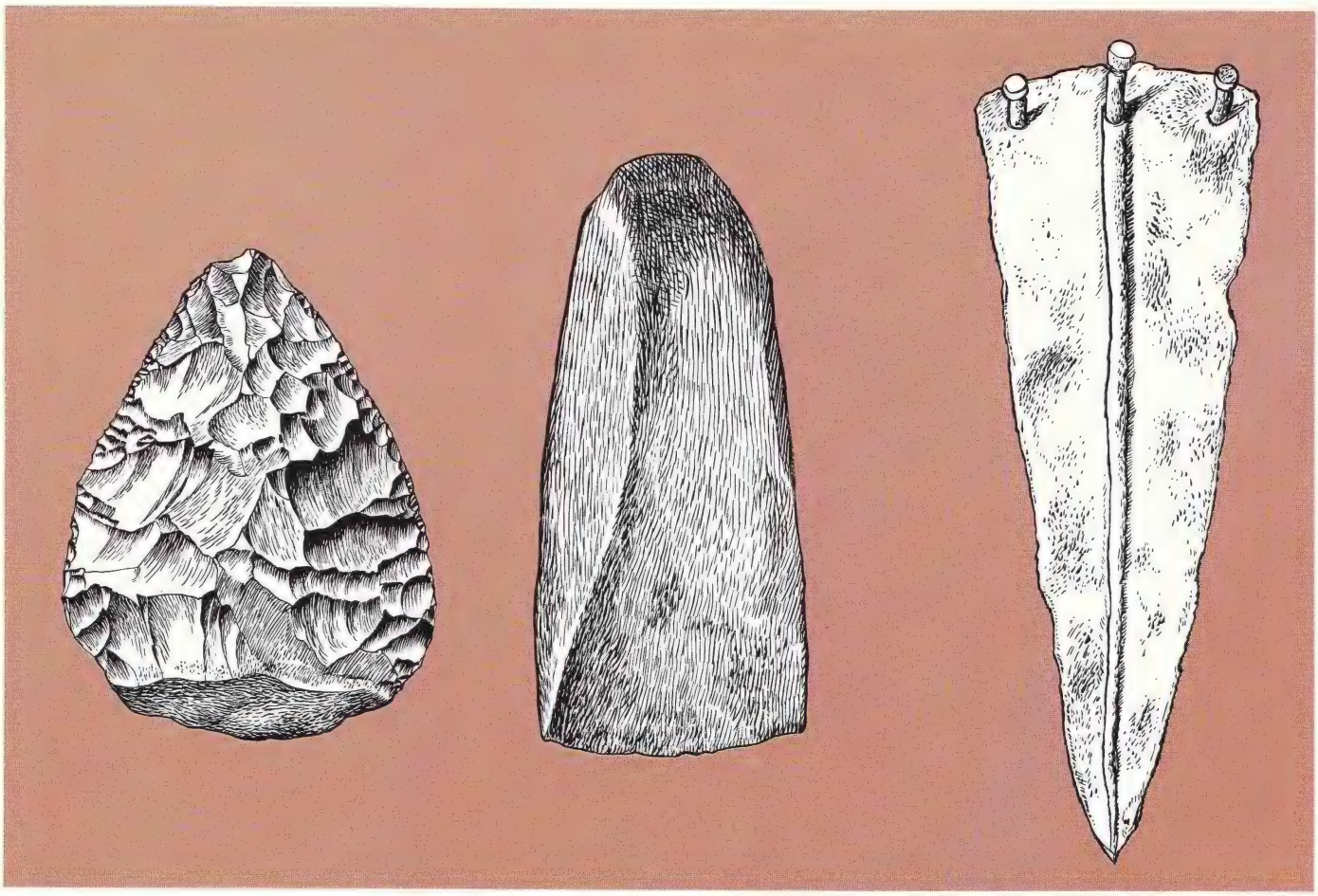


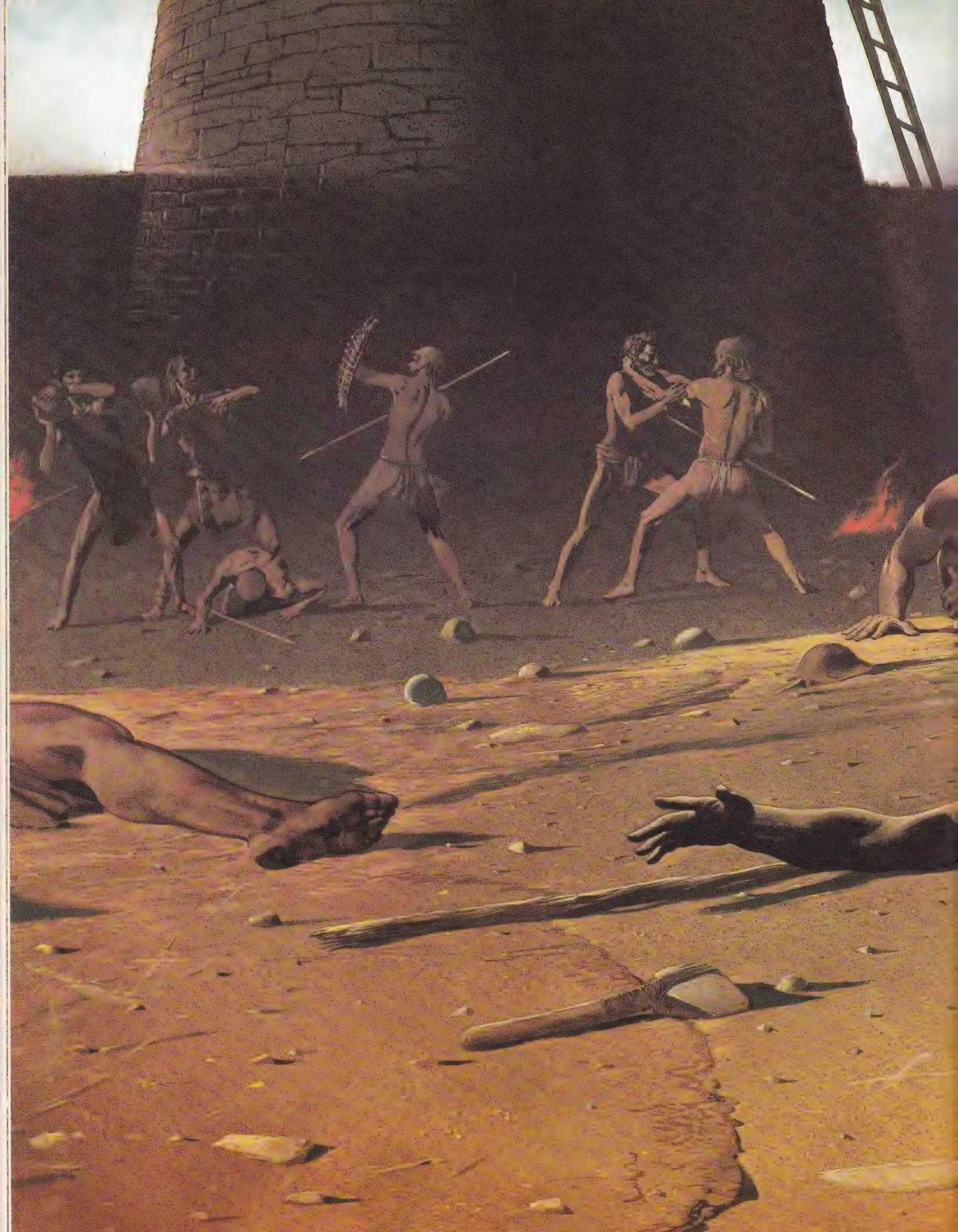
Der instinktive Anspruch auf einen ureigenen Lebensraum, wie er in vielen Tieren angelegt ist, pervertiert beim Menschen schnell zu einem zweideutigen „Besitzanspruch", dessen Wurzeln in den sozialen Beziehungen liegen. Aus einem instinktiven, natürlichen Verhalten hat der Mensch eine ganze Reihe von Regeln entwickelt. Die daraus erwachsenden Konflikte werden nun nicht mehr zwischen Individuen ausgetragen, sondern zwischen organisierten Gesellschaftsstrukturen. Das Ergebnis ist Krieg. Nicht nur die Mauern von Jericho, sondern auch viele Speere, die in primitiven Siedlungen aus vorgeschichtlichen Zeiten gefunden wurden, zeugen von Belagerung, Verteidigung und Tod. Schon damals kämpften die Menschen aus wirtschaftlichen Gründen gegeneinander. Die Verteidigung von Nahrungsmitteln, die nur unter harter Arbeit und Verzicht eingebracht und gelagert werden konnten, rechtfertigte eine noch nie dagewesene Aggressivität und Rücksichtslosigkeit und den Gebrauch von bis dahin unbekannten Waffen.

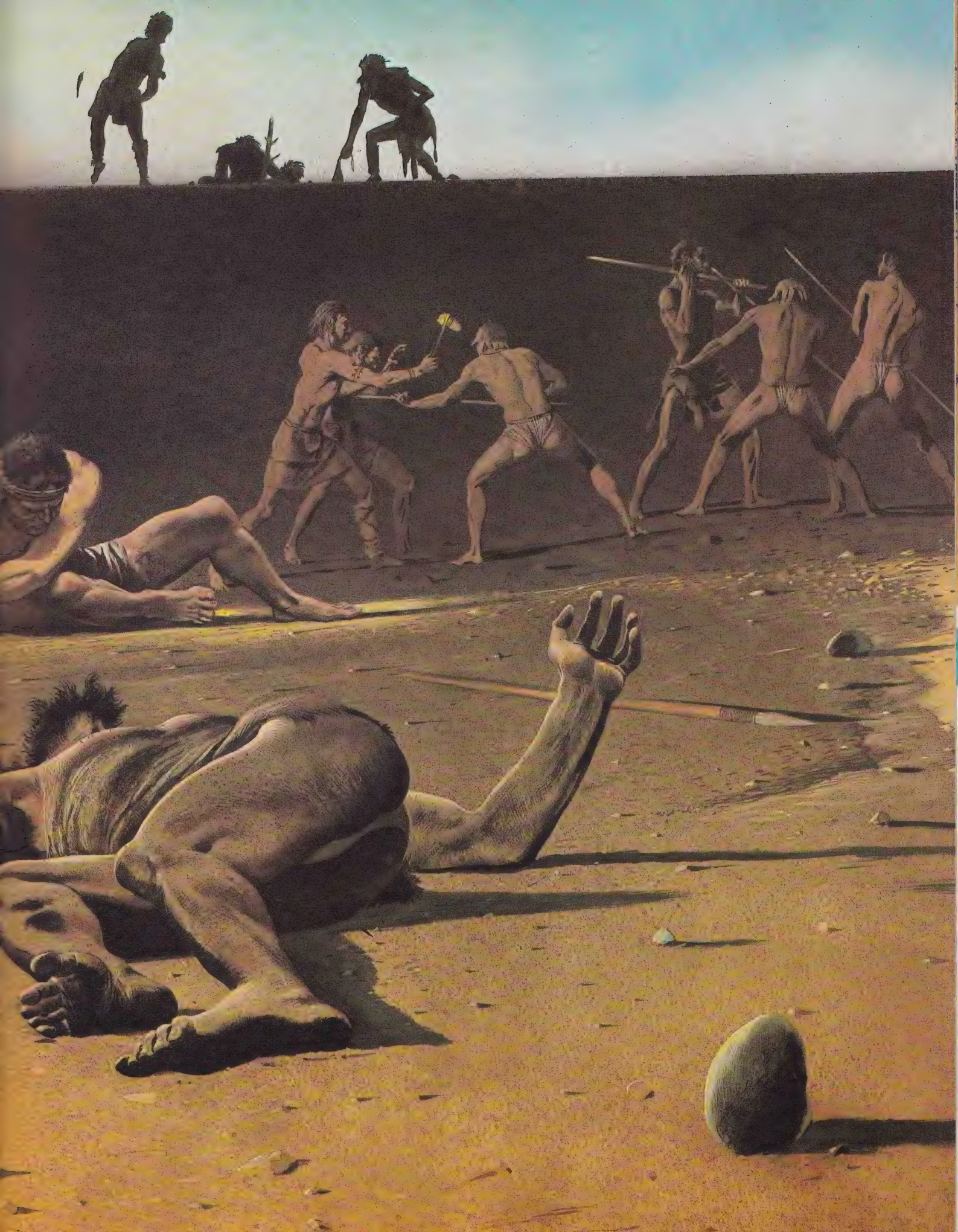
Natürlich konnte ein Mensch den Schädel eines anderen mit einem Faustkeil spalten (wie es sicher oft geschah), aber die ersten richtigen Schwerter und Dolche kamen später, als das Neolithikum allmählich ins Metallzeitalter überging. Denn jetzt hatte der Mensch das Material gefunden, mit dem er höchst wirksame Waffen herstellen konnte. Es ging nun nicht mehr allein um das Jagen von Wild. Jetzt mußte der Mensch auch das verteidigen, was ihm gehörte.

Abbildung auf den beiden folgenden Seiten: Diejenigen landwirtschaftlichen Gemeinschaften, die mehr Nahrung produziert hatten, als sie für ihre unmittelbaren Bedürfnisse benötigten, mußten sich auf Angriffe von Nachbargemeinschaften gefaßt machen, die ihren Lebensunterhalt noch überwiegend als Jäger und Sammler bestritten. Die (hier abgebildeten) Mauern Jerichos symbolisieren gleichsam den Unterschied zwischen den in diesem Sinne „reicheren" und „ärmeren" Gemeinschaften.

Unten: Während der langen Phase menschlicher Entwicklung, die vom Paläolithikum über das Neolithikum zum Metallzeitalter führt, hat der Mensch seine Waffen ständig verbessert.







Wiederum: Neugier und Feuer

Die Töpferei wurde „erfunden", weil der Mensch – immer empfänglich für das, was „neu" und „anders" ist – entdeckte, daß dieses seltsame, weiche, plastische Material *Lehm* hart wurde, wenn es in der Sonne trocknete. Der Mensch lernte weiterhin, daß die Hitze seines Herdfeuers das Material noch härter und widerstandsfähiger machte. Das *Metall* wurde aller Wahrscheinlichkeit nach erstmals entdeckt, als die menschliche Neugier von etwas erregt wurde, das hart und auffallend dicht unter dem Erdboden lag und leicht auszugraben war. Kristalle wie Chalkopyrit, Malachit, Kuprit oder Azurit, die in den Farben von Blau bis Grün variieren, werden sicherlich im Neolithikum die Neugier des Menschen

erregt haben. Manche Bruchstücke von diesen Kristallen wurden sicher gesammelt und zu Schmuckstücken verarbeitet. Wahrscheinlich ist auch, daß diese Kristalle durch Zufall irgendeiner Hitzequelle ausgesetzt wurden und daß der Mensch dabei beobachtete, wie die merkwürdig blauen Steine zu einer Masse schmolzen, die mit Hilfe von Werkzeugen zu einer Vielzahl von Formen bearbeitet werden konnte – wie der Lehm. Was aber danach geschah, war ganz anders als das, was der Mensch bei seiner Entdeckung der Keramik beobachtet hatte; denn statt die Kristalle zu erhärten, machte das Feuer sie flüssig; wenn sie dagegen nicht mehr der Hitze ausgesetzt waren, gewannen sie ihre Festigkeit zurück.

Nun konnte der Mensch mit dieser neuen Substanz arbeiten. Er benutzte dabei Steinwerkzeuge. Es bestand keine Gefahr, daß dieses neue Material brechen würde. Es ließen sich vielmehr, fand er heraus, dünne, aber außerordentlich harte Schichten erzielen, wenn man immer wieder auf dieses Material einhämmerte. Auch an anderen Metallen fand

Linke Seite: In zeitlich einander relativ nahestehenden Epochen entdeckte der Mensch die beiden Hauptmethoden der Metallbearbeitung: Hämmern und Verhüttung. Das Hämmern dürfte die ältere Methode sein.

Oben: Diejenigen Mineralien, die für das Metallzeitalter namengebend wurden; links: Kupfer aus Rumänien; rechts: ein Eisenerz (Hämatit) von der Insel Elba.

er bald Gefallen, vor allem am Gold. Er fand Goldklumpen in vielen Wasserläufen und sammelte sie, von ihrem Glanz angezogen, der dem Glanz der Sonne ähnelte. Beim *Gold* war der Mensch auch nicht auf Feuer angewiesen. Dieser seltsame gelbe Stein ließ sich zu jeder gewünschten Form durch bloßes Hämmern „kalt" bearbeiten. Vermutlich nicht viel später fiel dem Menschen auf, daß er mit *Silber,* das er ebenfalls in kleinen Brocken in der Erde fand und dessen Farbe ihn an den Mond erinnerte, genauso verfahren konnte.

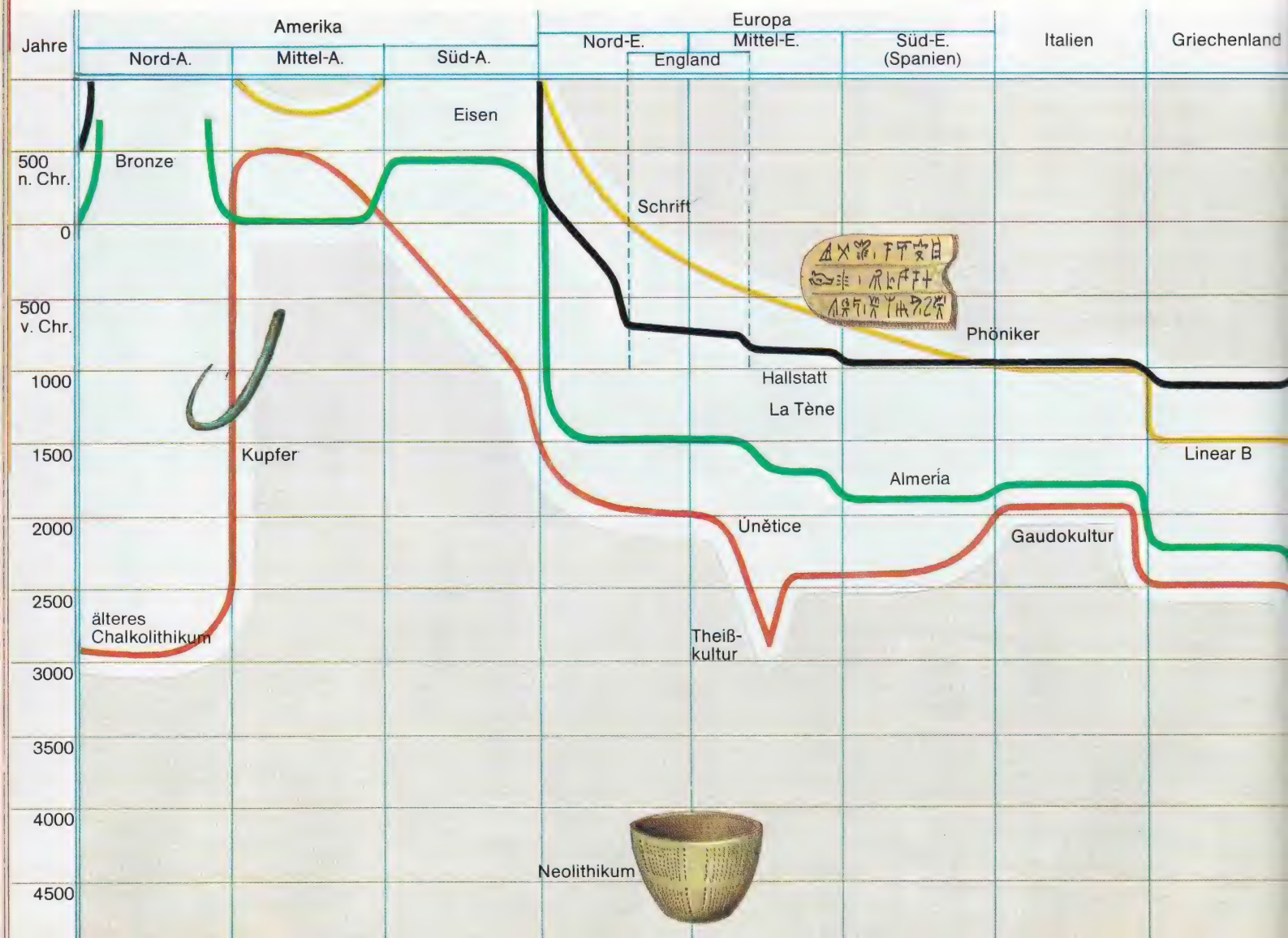
Eigentlich benötigte der Mensch jedoch *Bronze* (eine Legierung aus Kupfer und Zinn), und zwar in großen Mengen. Die Notwendigkeit,

Bronze zu erschmelzen, schuf neue Arbeitstechniken. So stellte man Gußformen aus Stein her, in die das glutflüssige Metall hineingegossen wurde. Bald schon wird man eine Anzahl Zierobjekte und Gegenstände des täglichen Gebrauchs besessen haben. Die Verwendung von Formen war, besonders für die Herstellung von Statuetten, schon im Neolithikum nicht unbekannt; jetzt allerdings breitete sie sich als Grundelement der beginnenden Metallurgie zunehmend aus.

Eine Übergangsperiode

Wenn wir uns an das „System der drei Zeitalter" nach Thomsen erinnern, müssen wir zugeben, daß die gerade beschriebenen Ereignisse sich in einer Art von zeitlichem Niemandsland abgespielt haben (obwohl sie natürlich zweifellos „nach" dem Neolithikum stattfanden). Wir haben einen neuen Begriff und ein ganzes neues Sortiment von Etiketten in das System des Kopenhagener Museumskurators einzufügen, um Ordnung in seine Vitrinen zu bringen.

Die Übergangsperiode zwischen dem Neolithikum und dem *Metallzeitalter* (eine offenbar recht flexible Bezeichnung, die es gestattet, eine Reihe zeitlich nahe beieinanderliegender Phasen begrifflich zusammenzufassen) wird gewöhnlich als *Chalkolithikum* bezeichnet (nach den griechischen Wörtern für „Stein" und „Kupfer"); man begegnet auch den Bezeichnungen *Kupfersteinzeit* und *Eneolithikum*.

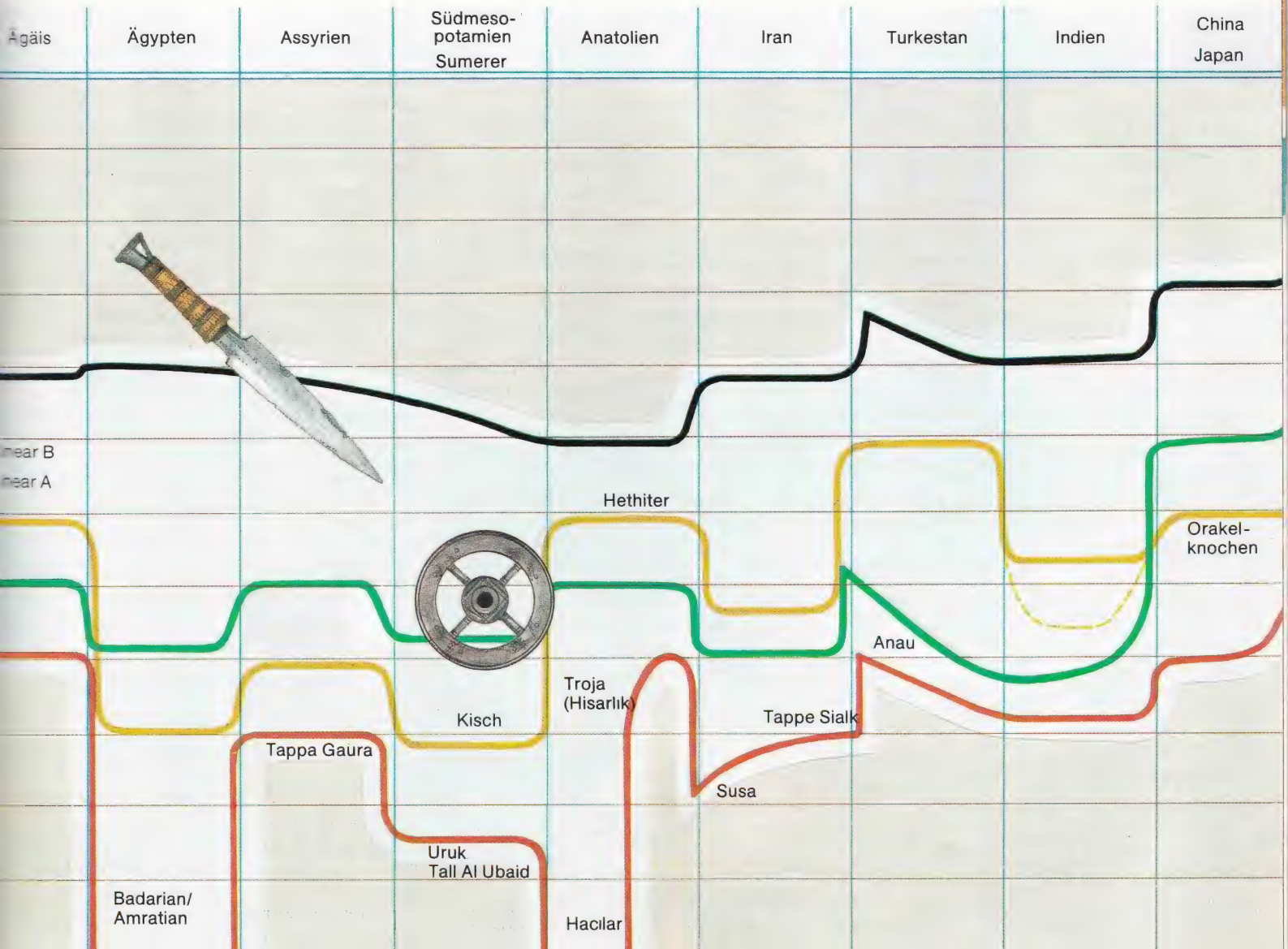


Das Chalkolithikum hielt seinen Einzug auf der ganzen Erde, allerdings mit unterschiedlichen Schwerpunkten und mit unterschiedlicher Dauer in den einzelnen Gebieten. In einer großen Zahl von Fällen deckt sich diese Periode mehr oder weniger eindeutig mit dem Zeitalter, in dem die Schrift erfunden wurde; sie kennzeichnet darum zugleich den Übergang von der Vorgeschichte zum geschichtlichen Zeitalter.

Für viele Völker allerdings erschien die *Schrift* bereits vor der allgemeinen Einführung des Metalls und wurde sozusagen das Instrument, mit dem man die täglichen Routineprobleme löste (in dieser Hinsicht typisch waren die großen Zivilisationen des amerikanischen Kontinents). An vielen anderen Orten dagegen (Mitteleuropa und Nordamerika) wurden Metalle lange vor den frühesten Formen der Schrift verwendet. Sicher ist dies ein recht komplexer und verwirrender Sachverhalt, der indessen ohne größere Bedeutung für die Geschichte des Menschen ist.

Betrachten wir einmal die einzelnen Kulturen, ohne den Menschen als Protagonisten aus den Augen zu verlieren, so erkennen wir bei aller Verschiedenheit doch eine ganze Reihe gemeinsamer Strukturelemente. Was als spektakulärer Unterschied zwischen zwei kulturellen Epochen erscheinen mag, wird weniger auffällig, wenn man es als einen Bestandteil unter vielen in der großen Zahl von Episoden ansieht, aus denen der Teppich der Geschichte geknüpft ist. Ein Topf bleibt ein

Die Grafik illustriert die kulturelle Entwicklung in den einzelnen Teilen der Erde, wie sie sich durch das Auftreten der Töpferei, der Schrift und der Metalle ergibt.



Rechte Seite: Die Keilschrift war im Altertum weit verbreitet. Diese Tafel stammt aus der assyrischen Stadt Kalach (heute Ruinenhügel Nimrud).

Behälter, der einen Zweck hat, nämlich Korn oder Flüssigkeiten aufzunehmen; und die Form seines Randes oder seines Griffs, auch der Stil seiner Verzierungen sind schließlich nichts weiter als ein Zubehör, das den eigentlichen Zweck nicht weiter berührt – wie bedeutsam auch immer all dies für die Charakteristik der Kultur sein mag, die sie prägte.

Mittel der Kommunikation

Derartige Unterschiede stützen unter anderem die Behauptung, daß unterschiedliche Umweltbedingungen nicht nur die menschlichen Lebensnotwendigkeiten, sondern auch die Höhe der menschlichen Entwicklung bestimmen. In einer Siedlung, in der der Ackerbau lediglich deshalb betrieben wird, um den üblichen Nahrungsquellen, Jagd und Kleintierzucht, eine weitere Nahrungsquelle hinzuzufügen, ist keine komplexe Einteilung der Pflichten nötig; die Siedlung verwaltet sich sozusagen von selbst; Vorgänge „festzuhalten", sie zu beschreiben und detailliert in Listen aufzuführen, ist nicht erforderlich.

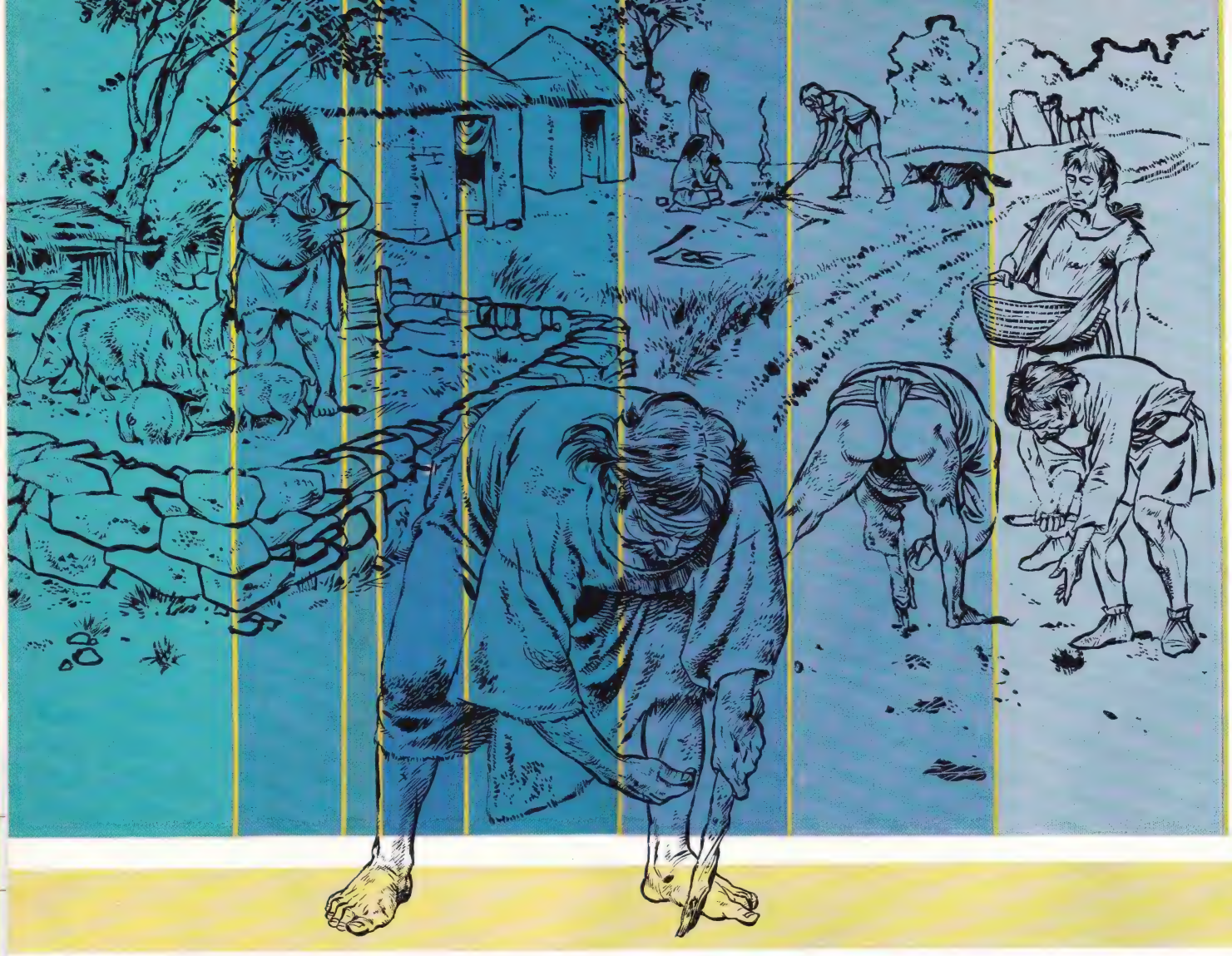
Eine solche Gemeinschaft ist durchaus ohne Schrift funktionsfähig. Wendet sich aber eine Gemeinschaft dem Ackerbau als überwiegendem Erwerbszweig zu, dann wird sich seine Organisationsstruktur verändern. Jedem Mitglied dieser Gemeinschaft werden besondere Pflichten zugewiesen werden. Man muß registrieren, wieviel Getreidekörner für die Aussaat im nächsten Jahr zu speichern sind. Und jeder nur denkbare Vorteil, den natürliche Quellen bieten (besonders wichtig war hierbei die Wasserversorgung), muß genutzt werden. Im übrigen war es sicher sehr kompliziert, die erforderlichen Kenntnisse über das Gelände umständlich in Bildern auszudrücken. Hier wurde die „Erfindung" der Schrift zur Notwendigkeit.

Unten: Dieses in Kisch, unweit von Babylon, gefundene Kalksteintäfelchen zeigt Schriftzeichen der vielleicht ältesten bekannten Bilderschrift (rund 3500 v. Chr.).

Eine Gegend, in der die Ernten kärglich ausfallen, die jedoch andererseits reich an durchziehendem oder ortstreuem Wild ist, wird eher kleinere Gemeinschaften beherbergen; für den Aufbau großer, „städtischer" Gemeinschaften ist sie sicher weniger geeignet. Unter den Mitgliedern solcher kleiner Gemeinschaften wird es unmittelbare Kontakte geben, für die die mündliche Kommunikation vollkommen ausreicht. Möglicherweise wird das reichliche Vorkommen metallischer Mineralien und die Notwendigkeit, wirkungsvolle Waffen zu besitzen, in einer Gegend zur Entwicklung der Metallurgie führen: Die kleine Gemeinschaft würde sich zweifellos verteidigen müssen, sie würde aber auch zu Angriffshandlungen fähig sein.

Wie dem auch sei, wir täten gut daran, eines nicht aus den Augen zu verlieren: Die Fähigkeit zu schreiben (die Wilsons Zeitgenossen entsprechend den Ansichten seiner Zeit noch als der wahre Zugang zur Geschichte bzw. Zivilisation erscheinen mochte) führte selbst unter den günstigsten Umständen zu einer Kodifikation der Kommunikationsformen und also zu einer unausweichlichen Einengung der übermittelten Botschaft. Ich benutze eine Schreibmaschine, um diese Seiten zu schreiben, und verwende dabei Wörter, die sich aus den 46 Typen der Tastatur zusammensetzen. Alles übrige, was durch Stimme, Gebärde und Gesichtsausdruck (die im Ergebnis so viel unmittelbarer wären) hinzutritt, geht beim Schreiben verloren; die Buchstaben unseres Alphabets und unsere graphischen Symbole können es nicht darstellen.

Schrift deutet immer auf ein erhebliches Maß an Abstraktionsfähigkeit hin und kennzeichnet zugleich sowohl Konzentrationsfähigkeit als auch ein eingeschränktes Ausdruckspotential. Hätten wir nicht die unendliche Fülle von Zeugnissen, die uns die alten Ägypter durch ihre

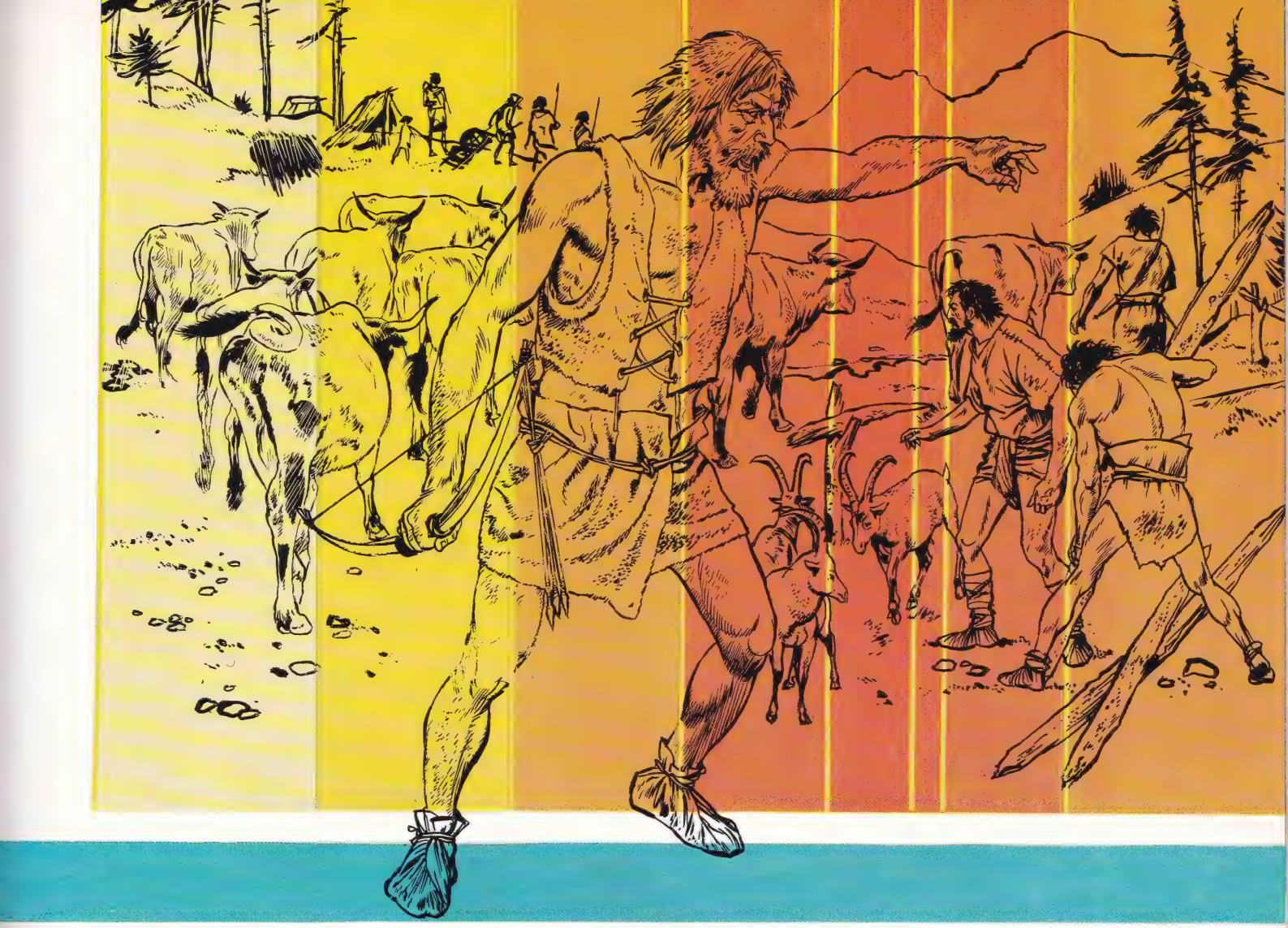


Schrift überliefert haben, wüßten wir nur sehr wenig über ihr Leben. Aber wir können logischerweise eine Kultur wie etwa die Hallstattkultur nicht lediglich darum weniger entwickelt nennen, weil ihre Träger die Schrift noch nicht kannten. Es ist nämlich sehr wahrscheinlich, daß ihre Fähigkeit, sich durch Wort und Gebärde zu verständigen, hochentwikkelt war und für ihre Lebensbedürfnisse vollständig ausreichte.

Diese Hinweise sind deswegen so wichtig, weil sie uns gestatten, die verschiedenen Kulturepochen in eine relativ begrenzte Anzahl von Phasen in der Geschichte der Menschheit einzuordnen. Dabei halten wir uns an einen Rat des Aristoteles, „Tatsachen von ihrem Ursprung her zu verfolgen, um besser zu verstehen, wie sie sich entwickelt haben". Im vorliegenden Fall sollten wir bei jeder Kultur, die wir untersuchen, von der realen Basis des Kulturhorizonts ausgehen – der Umwelt.

In den Augen der anderen

Abermals bestätigt sich der subjektive Charakter aller Urteile. Was in unseren Augen „unzivilisiert" erscheinen mag, die Bezeichnung Zivilisation nicht verdienend (Unkenntnis der Schrift, Menschenopfer), hing tatsächlich eng mit einem ökologischen System zusammen, das die biologische und die soziale Umwelt (die im Menschen zusammentrafen) verbindet. Der Mensch nämlich spielte eine Rolle in *zwei* „Geschichten":



der Entwicklungsgeschichte des Lebens auf dem Planeten Erde und in einer anderen, die er selbst „Geschichte" nennt. Diese zweite „Geschichte" ist die Abfolge der verschiedenen kulturellen Erfahrungen bei dem Versuch, das immer gleichbleibende Grundproblem zu lösen: den Hunger zu besiegen.

Am Anfang seines Buches „Kunst und Illusion" bringt E. H. Gombrich eine Karikatur von Alain. Sie zeigt einige Schüler in einer imaginären Schule für ägyptische Kunst. Genau wie Studenten an einer heutigen Akademie zeichnen sie ein Modell, das in jeder Hinsicht jenen Figuren ähnelt, die wir in den Malereien und Skulpturen der pharaonischen Zivilisation so sehr bewundern. „War es so?", fragt Gombrich. „Waren sie damals wirklich anders? Oder waren sie imstande, *sich selbst* so zu sehen, wie sie dargestellt sind? So anders, als *wir uns* heute sehen?" Wir können diese Frage über ihre nur künstlerische Bedeutung hinaus erweitern und auf den Gesamtkomplex vergleichbarer Umweltsysteme ausdehnen.

In welcher Weise also können wir jetzt „Tatsachen von ihrem Ursprung her verfolgen" (um dem Rat des alten Lehrers Alexanders des Großen zu folgen)? Es würde sich als äußerst schwierig erweisen, wollten wir etwa versuchen, die Einstellung unserer ältesten Vorfahren (wie etwa des ersten Homo sapiens fossilis) ihrer Umwelt gegenüber zu

Die primitive landwirtschaftliche Gemeinschaft beschäftigte sich mit der Haltung bestimmter Tierarten. Zunächst wurden Hund und Ziege, sodann das Wildschwein domestiziert, das sich ohne Protest auf eine Kost umstellte, die aus für den Menschen nicht mehr genießbaren Nahrungsabfällen bestand. Die damaligen Siedlungen setzten sich aus Hütten zusammen, deren Fundamente häufig aus Stein oder einfachen Ziegelsteinen bestanden. Die Nomadengemeinschaft (rechts) kennt auch heute noch keine dauerhaften Siedlungen. Ihre Mitglieder wohnen in einfachen Zeltbehausungen und halten vorwiegend Rinder als Haustiere. Auch die Jagd wird von ihnen systematisch betrieben.

rekonstruieren. Allerdings hätten wir dabei Hilfe zu erwarten von einem gemeinsamen „biologischen und ethologischen Nenner" („Ethologie" ist die Wissenschaft von den Verhaltensmustern, die etwa den modernen Menschen und seine Primatenvettern verbinden – eine offenbar für unser Vorhaben äußerst wichtige Wissenschaft); denn wir gehören derselben Art an und dürfen darum vermuten, daß die Reaktionen unserer frühen Vorfahren auf bedeutsame Naturereignisse den unseren wohl recht „ähnlich" gewesen sein mußten, insofern als sie Wesen mit der gleichen physischen Ausstattung und Begrenztheit waren. Andere Probleme allerdings zeigen sich, sowie wir uns dem Augenblick nähern, in dem die soziale Dimension die physische überformt. In diesem Augenblick nämlich ist unsere Art, die Welt zu betrachten, nicht einfach nur mit „dem Menschen" verbunden, sondern mit dem komplexen System von Daten, das eine Kultur bzw. „Zivilisation" ausmacht.

Wenn wir versuchen, die Gründe für gewisse Haltungen des Menschen in seiner Auseinandersetzung mit der Natur aufzuspüren, und danach die Handlungen verfolgen wollen, die aus solchen Haltungen erwuchsen, müssen wir uns diesem Phänomen oft in umgekehrter Richtung nähern. Das unmittelbar zugängliche historische Faktum hilft uns nicht weiter; wir müssen vielmehr einen ganzen Lebensstil rekonstruieren und besitzen hierfür doch nur sehr wenige Unterlagen (etwa die Entdeckung von Tierknochen, Pflanzenresten und dgl.). Erst auf der Grundlage einer solchen „Rekonstruktion" können wir dann eine historische Tatsache wirklich wahrnehmen – die uns andererseits kalt ließe, solange sie nur einem einzelnen Augenblick zugeordnet wäre, solange sie also als isolierte Nachricht über die Zeiten hinweg in einer Inschrift oder Skulptur bewahrt wäre und von Haltungen berichtete, die wir von unserem heutigen Standpunkt aus überhaupt nicht nachvollziehen könnten. Wie paradox es also auch immer scheinen mag, so ist es doch „einfacher" und letzten Endes auch nützlicher, wenn wir uns bei

Rechts: Der Aufsatz „Kunst und Illusion" von E. H. Gombrich beginnt mit diesem geistreichen Cartoon von Alain: „Sahen" die Ägypter die von ihnen dargestellten Menschen genauso, wie sie sie malten? Sind wir überhaupt imstande, einen Gegenstand aus der Vergangenheit mit den Augen derer (Künstler oder Handwerker) zu sehen, die ihn geschaffen haben? Vielleicht gibt es Unterschiede in der „Art und Weise", die Dinge zu „sehen", etwa so, wie wenn jemand eine Landschaft fotografiert und dabei einen Film benutzt, der eine andere Lichtempfindlichkeit als unsere Augen aufweist. Zum Vergleich: Auf der rechten Seite sehen wir eine Luftaufnahme des Golfs von Kalifornien, daneben die gleiche Aufnahme auf Infrarotfilm mit Spezialfiltern.

unseren Untersuchungen beliebigen Daten jener Kulturen zuwenden, die die Schrift noch nicht kannten und demnach keine redundanten Zeugnisse zu hinterlassen vermochten, die oft so schwer zu einem Ganzen zusammenzufügen sind.

Bei der Rekonstruktion vorgeschichtlicher Töpfe aus Bruchstücken in verschiedenen Lagen einer Ausgrabung empfinden wir große Genugtuung, wenn zwei der Bruchstücke vollkommen (nach Muster und Motiv der Verzierungen, Materialbeschaffenheit, Randform usw.) zusammenpassen und wenn wir dann vielleicht sogar noch ein weiteres Bruchstück und noch eines finden, die ebensogut passen wie das erste. Bald haben wir so den ganzen Hals einer Vase oder Urne rekonstruiert und kennen ihre Dimensionen. Dies ermöglicht uns einen besseren Einblick in den kulturellen Bereich ihrer Hersteller. Schließlich finden wir dann noch ein letztes Bruchstück: die gleiche Materialbeschaffenheit, das gleiche Verzierungsmotiv, aber mit Rand. Des Rätsels Lösung kann nur darin liegen, daß ganz offenbar eines der Stücke, das vorher so glatt zu den anderen Teilen des Randes zu passen schien, doch nicht dazugehörte, sondern wohl Teil einer anderen Vase war.

Ein Überschuß an Daten schafft ziemlich häufig solche Verlegenheiten; und obwohl die Daten, die wir da zusammenstellen, auf eine einigermaßen feste, komplexe Kulturtradition hinweisen, werden uns wahrscheinlich immer einige von ihnen bei unseren Rekonstruktions-

versuchen „überflüssig" erscheinen – eben weil wir „ihre Welt" nicht wahrnehmen können.

Ein Zuviel an gegebenen Punkten auf einer gesuchten Kurve erschwert die Rekonstruktion dieser Kurve. Besäßen wir weniger von ihnen, könnten wir eine hypothetische große Kurvenlinie extrapolieren, was in vielen Fällen viel nützlicher wäre, weil diese grobe Kurve weniger streng mit den einzelnen episodischen Details verbunden wäre.

Aus diesem Grund ist sogar ein flüchtiger Überblick über die verschiedenen Übergangsperioden zwischen dem Neolithikum und dem Metallzeitalter in den verschiedenen Regionen der Erde für unsere Untersuchung höchst bedeutsam. Da das Chalkolithikum wenigstens in seinen Anfängen ohne alle schriftliche Überlieferung war, halten wir es für nützlich, einen allgemeinen Abriß dieses Übergangs zu erstellen, seine Ursprünge und unmittelbaren Folgen aufzuspüren und dadurch seine Wirkung durch das ganze Metallzeitalter hindurch im Verhältnis zu regionalen Faktoren zu verfolgen.

Bei der Untersuchung der ersten, „ärmeren" Kulturen werden wir eine Reihe wesentlicher Komponenten ermitteln, die uns später bei der „Interpretation" der so überreich angebotenen Zeugnisse der ersten historischen Zivilisationen von Nutzen sein werden. Wir sollten deshalb zunächst einige Zeit im Bereich der Vorgeschichte verweilen.

Die hier abgebildete Stele, die im Pariser Louvre aufbewahrt wird, zeigt den sumerischen Gouverneur von Lagasch, Urnansche, während der Errichtung eines Tempels (2500 v. Chr.). Die Inschrift bezieht sich auf den Stammbaum seiner Familie.

Das rote Metall

Ein Patent ohne Exklusivitätsanspruch

Wir wollen jetzt versuchen, eine ähnliche historisch-geographische Karte für das Auftauchen vom Kupfer zu erstellen, wie wir das bereits für das Erscheinen der Töpferei getan haben. Wir wissen, daß die „Erfindung" der Töpferei wahrscheinlich an mehreren Orten gleichzeitig erfolgte. Es ist gut möglich, daß es sich mit dem Kupfer ähnlich verhielt. Wir müssen uns jedoch eines vor Augen halten: Die Töpferei könnte der Mensch fast überall „entdeckt" haben, da Lehm in allen Teilen der Erde zu finden ist. Die Entdeckung von Metall ist dagegen an bestimmte Voraussetzungen gebunden, vor allem natürlich daran, daß es in einer bestimmten Gegend überhaupt Mineralien gibt.

Um das Jahr 5000 v Chr. wurde Kupfer bereits von einigen Bevölkerungsgruppen im oberen Niltal verwendet (Kupferperlen, die in einem flüchtigen Schmelzprozeß hergestellt wurden und wahrscheinlich als Schmuckstücke dienten). Wir nennen diese Kultur nach dem Ort Al Badari, der etwa 400 km von Kairo entfernt liegt, *Badarian.* Ihre Werkzeuge waren noch vorwiegend aus Stein, Knochen oder Elfenbein. Es wurde Getreide angebaut, das in Holzkisten gelagert wurde, die mit Erde und vielleicht Schilfmatten zugedeckt wurden. Die Tierzucht beschränkte sich auf Schafe und Rinder. Bei der Jagd gebrauchte man Pfeil und Bogen (die Pfeilspitzen waren aus Feuerstein) sowie eine Art von Bumerang (als *Wurfstock* bekannt).

Etwa um 4500 v. Chr. entwickelte sich in der Gegend von Al Amra, rund 100 km südlich von Al Badari, das sog. *Amratian.* Dort wurden aus Kupfer, das durch Hämmern bearbeitet wurde, Skalpelle, Pfeilspitzen, Ringe und Perlen hergestellt. Auch Gold und Silber wurden bearbeitet, allerdings nur in kleinen Mengen. In den Dörfern züchtete man Schafe, Rinder, Hunde und Schweine.

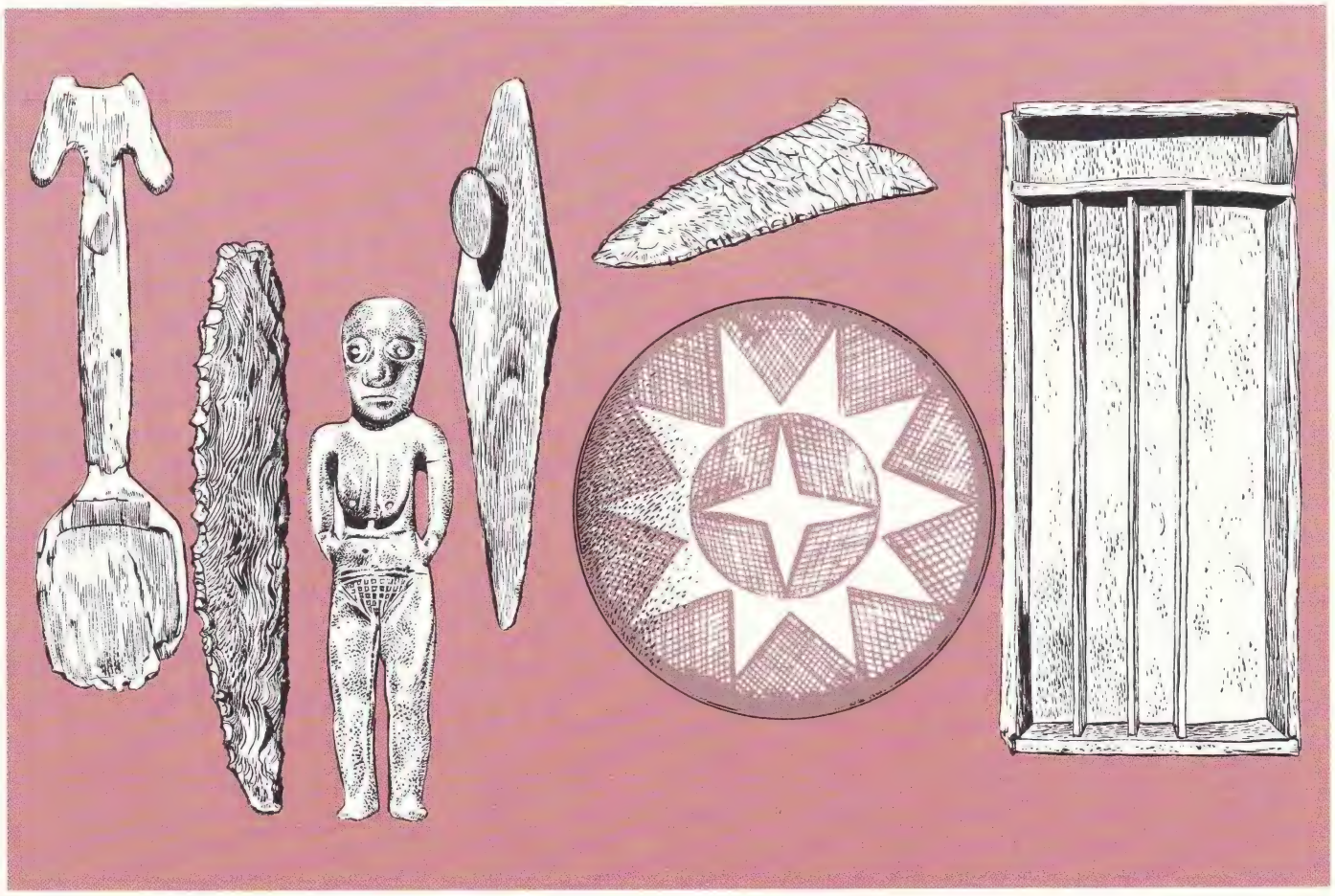
Die ersten Beweise dafür, daß Kupfer auch im Mündungsgebiet von Euphrat und Tigris bearbeitet wurde, stammen etwa aus der Zeit um 4000 v. Chr. Die Spuren der damaligen Siedlungen befinden sich heute mehr als 200 km vom Meer entfernt; in früheren Zeiten lagen dieselben Siedlungen an der Küste, und die beiden Flüsse mündeten einzeln in den Persischen Golf. Da die dortige Kupferbearbeitung offensichtlich bereits

ziemlich fortgeschritten war, nimmt man im allgemeinen an, daß das Kupfer schon viel früher „entdeckt" wurde. Die ersten ägyptischen Kupfergüsse kommen uns im Vergleich zu denen am Euphrat und Tigris eher grob und mehr wie „Zufallstreffer" vor.

Es läßt sich in der Tat schwer feststellen, ob nun das Kupfer zuerst in Ägypten oder im eben erwähnten Gebiet am Persischen Golf verwendet wurde. Natürlich ist dies nicht eine Frage des Copyrights oder des Patentrechts. Das Problem ist dennoch nicht ganz unwichtig, da wir, wenn es sich lösen ließe, vielleicht feststellen könnten, ob etwa und auf welche Weise zwischen beiden Gebieten ein Kulturaustausch stattgefunden hatte. Bis jetzt ist diese Frage trotz mancher guter Theorien noch nicht wirklich befriedigend beantwortet.

Von jenen frühen kleinen und manchen größeren Siedlungen ist heute nichts weiter übrig als einige wenige Schutthaufen, die aus sehr heterogenen Materialien bestehen, die sich im Laufe der Jahrtausende und Jahrhunderte allmählich dort angesammelt haben. Die Ruinenhügel werden im vorderasiatischen Bereich als *Tell (Tall)* oder *Tepe (Tappa, Tappe)* bezeichnet. Alle die berühmten vorgeschichtlichen oder geschichtlichen Stätten, die zwischen Euphrat und Tigris lagen, waren solche „Tells", auf denen häufig Dörfer entstanden, weil die Erhebung gewisse Vorteile bot. In der Regel ist die Stratigraphie in diesen Gebieten recht einfach und erleichtert die relative Datierung.

Unten: Links im Bild: Gegenstände aus dem Badarian, einer Kultur, die um 5000 v. Chr. in Mittelägypten florierte: ein Löffel und eine Elfenbeinfigur, eine feinbearbeitete Quarzklinge. – Rechts im Bild: Gegenstände aus dem Amratian (4500 v. Chr.): Schminktäfelchen aus Stein mit Griff (ein Zubehörteil, der für die geschichtliche Zivilisation Ägyptens typisch ist), Pfeilspitze aus Flint, Tonschale mit Sternmuster auf schwarzem Hintergrund, Holzkästchen mit mehreren Fächern.



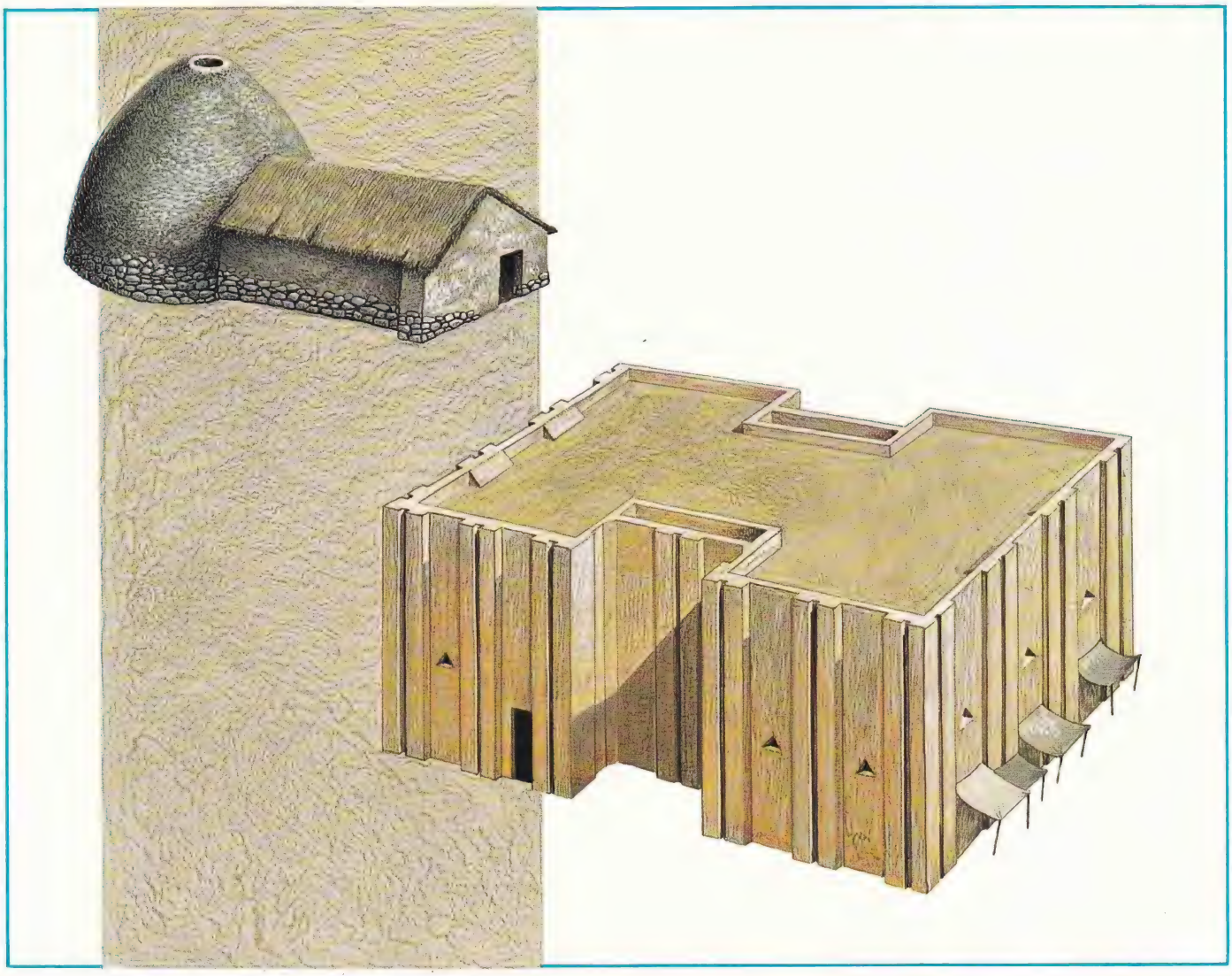
Links: Die Tonwaren von Tall Al Ubaid zeigen einen dicken Farbauftrag in typischem Wildledergrün. Die dunkelbraunen Verzierungen stellen seltsam stilisierte Formen dar, hier z. B. die überdimensionalen Hörner winziger Steinböcke.

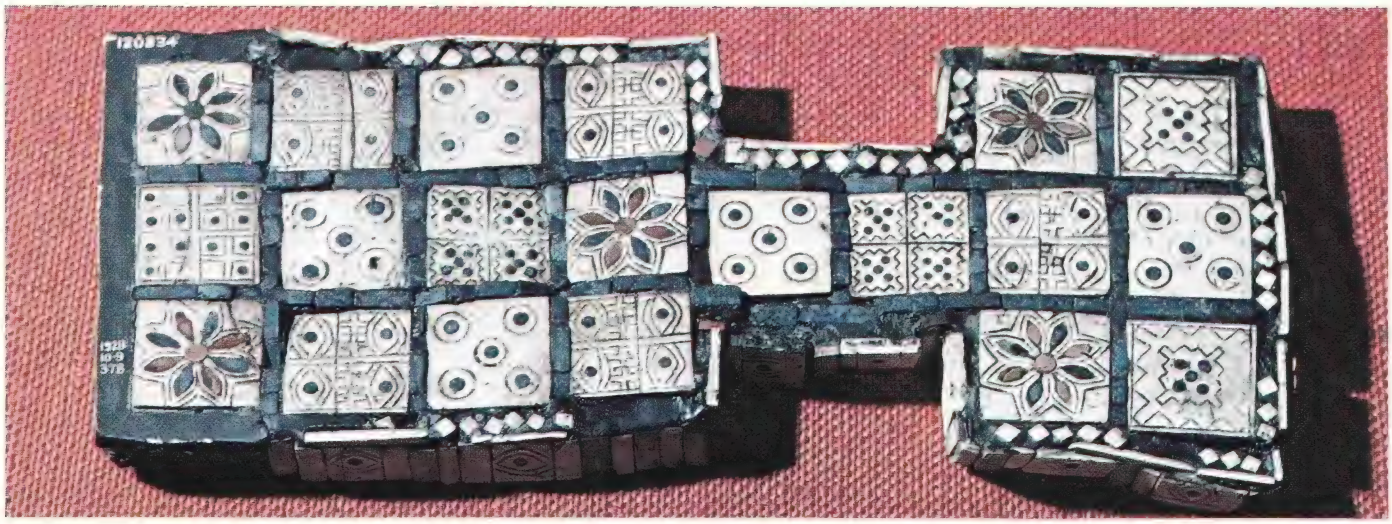
Unten: Die Ruinenzeugnisse der Zivilisation Mesopotamiens haben sich im Laufe der Zeit, nicht zuletzt „dank" menschlicher Gleichgültigkeit, in Stein- und Schutthaufen verwandelt. Auf dem Foto die gleichsam formlosen Überreste des Tempels von Kalach (heute Nimrud).

Die Kultur von *Tall Al Ubaid* lernte das Kupfer wahrscheinlich erst viel später kennen, als sich der Einfluß dieses Metalls nach Norden hin (bis zum Oberlauf der beiden Flüsse) ausbreitete: nach *Tappa Gaura* (Nordirak) und *Tall Halaf* (Nordsyrien); die Kulturen beider Städte haben Ähnlichkeit mit der Kultur von Tall Al Ubaid und benutzten wie diese gegossene Kupferperlen. Das Vorkommen von Kupfer in *Ras Schamra* an der syrischen Küste wird ebenfalls dem gleichen breiten Kulturgürtel zugeordnet.

In Tall Al Ubaid wurden Getreide und Datteln angebaut. Bei der Jagd benutzte man Geschosse aus Stein oder Terrakotta, die mit einer Schleuder (unter der Beute befanden sich viele Arten von Sumpfvögeln) befördert wurden. Die Tierzucht in diesem Gebiet erstreckte sich auf Schafe, Ziegen und Schweine. In Tall Al Ubaid wurden vor kurzem kleine Sicheln mit Keramikgriffen gefunden, in die mehrere Mikrolithen aus Obsidian oder Quarzit bei großer Hitze eingesetzt worden waren (wohl um so durch ein teilweises Schmelzen des Glasmaterials eine durchgehende Schneidkante zu erzielen). In dieser Art von Werkzeug glauben

Rekonstruktion der Tempel von Tall Halaf und Tappa Gaura. Der erstere besaß eine Art rechteckiges „Vorschiff" mit einer Mauer aus Stein und von der Sonne gebrannten Lehmziegeln. Das schräge Dach war mit Holz und Stroh bedeckt. Dahinter befand sich eine kreisförmige „Kapelle". Der Bauplan des Tempels von Tappa Gaura (rechts) war komplizierter; das Gebäude hatte massive Außenwände.





Oben: Kleiner Tisch aus der sumerischen Ruinenstadt Ur, der an ein Damespiel erinnert. Dieser aus dem dritten Jahrtausend v. Chr. stammende Tisch, der sich heute im Britischen Museum in London befindet, verrät uns einiges über den Alltag der Sumerer.

Links: Tonfragment mit einem Flachrelief aus dem Tempel von Tall Halaf.

Wissenschaftler einen Beweis dafür gefunden zu haben, daß damals auch andere Sicheln mit durchgehenden Schneidkanten aus Kupfer verwendet wurden (wenn auch noch keine entdeckt wurden, da dieses Metall eine geringere Beständigkeit besitzt). Zweifellos sind aber Menschen, die imstande sind, vulkanisches Glas zum Schmelzen zu bringen, auch imstande, Metalle heiß zu bearbeiten.

Mit Sicherheit gab es Kupfer in den Siedlungen einer späteren Kultur, der Kultur von *Uruk* (heute Warka), einem Gebiet, das einst an der Küste des Persischen Golfs lag. Hier gab es besonders Tonwaren, die mit Hilfe einer Töpferscheibe (mit Fußantrieb und daher viel schneller arbeitend) geformt wurden. Uruk, das mehr als 2 000 Jahre existierte, war bereits in seinen Anfängen (3600–3500 v. Chr.) eher wie eine Stadt, nicht wie ein einfaches Dorf organisiert.

Eine Speerspitze aus Kupfer wurde vor kurzem in *Susa* (in der iranischen Provinz Chusestan), nahe am Persischen Golf, entdeckt. Sie wurde auf rund 4000 v. Chr. datiert. Auch Susa erfreute sich einer langen Geschichte.

In *Tappe Sialk,* 3 km südwestlich der heutigen Stadt Kaschan in Iran, wurden Gegenstände aus Kupfer gefunden, die durch Hämmern bearbeitet worden waren. Es handelt sich um Ziergegenstände, die auf eine Zeit um 3500 v. Chr. oder vielleicht sogar früher datiert werden können.

Die Datierung der Verwendung von Kupfer in Anatolien ist immer noch umstritten; wir wissen jedoch mit Sicherheit, daß in dieser Gegend die Kupferbearbeitung schon früh bekannt war und als Folge der (durch die besonderen geographischen Gegebenheiten) isolierten kulturellen Entwicklung sehr lange beibehalten wurde. In *Hacılar* in Südanatolien, wo um 7000 v. Chr. eine der frühesten neolithischen Siedlungen existierte, begann um etwa 5000 v. Chr. die erste Phase des Chalkolithikums; dieses Datum wird allerdings nicht von allen Wissenschaftlern bestätigt.

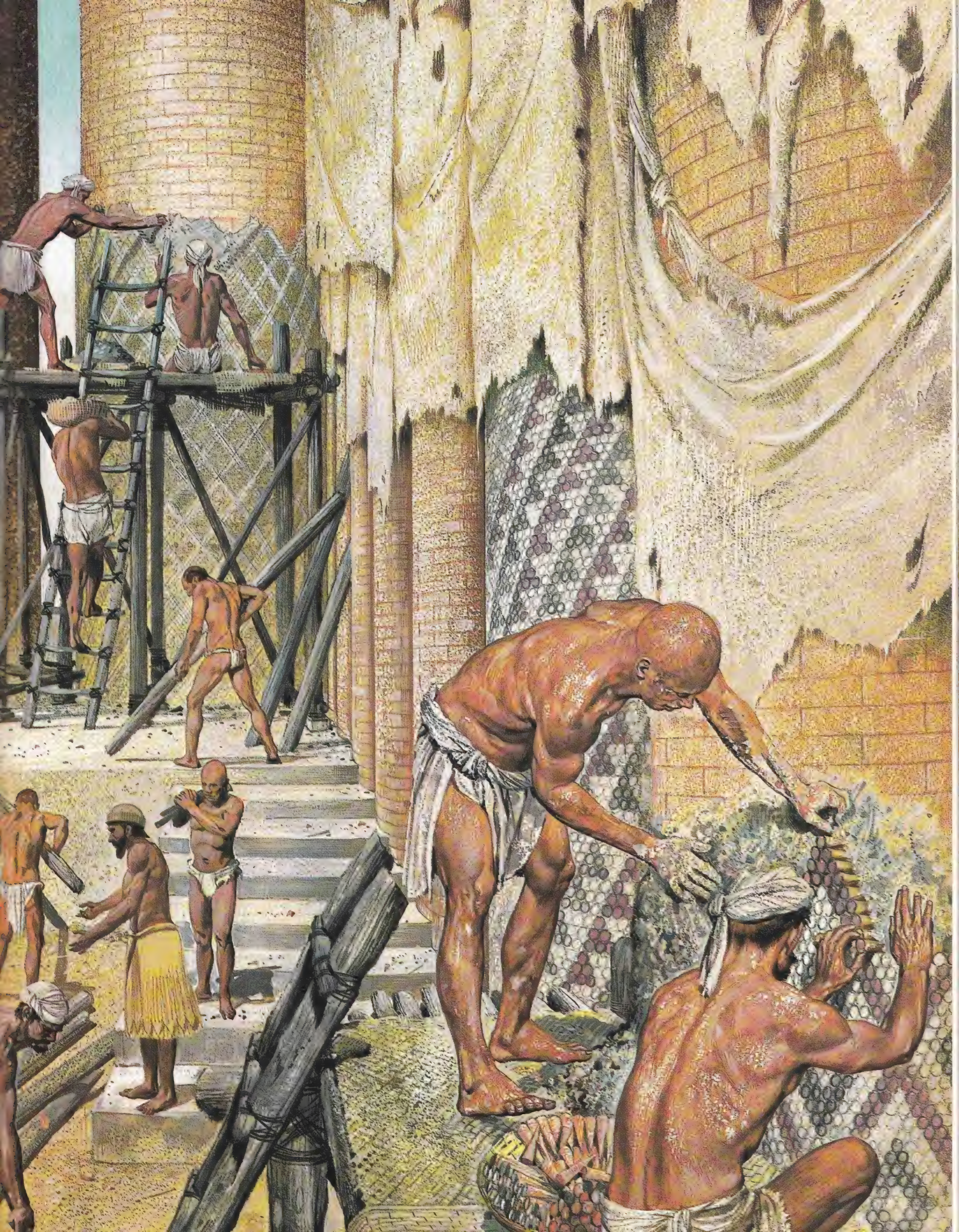
Außerhalb des Fruchtbaren Halbmondes

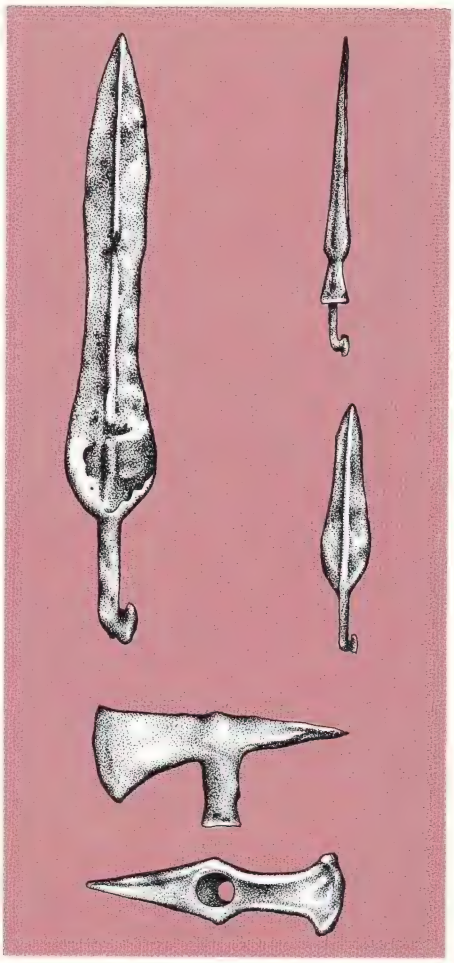
In *Anau,* etwa 300 km östlich vom Kaspischen Meer, in den Bergen von Turkestan, erschien das Kupfer um 3000 v. Chr. In der Töpferei gab es dort keine sichtbare Weiterentwicklung. Man nimmt daher an, daß Metall schon früher dort bekannt war, da die Gegend reich an Mineralien ist. Anau hat sehr wahrscheinlich eine wichtige Rolle als „Kulturbrücke" zwischen diesem Erdteil und Indien (vielleicht auch China) gespielt.

Was wir früher von der Töpferei gesagt haben, erlaubt uns jetzt folgende Beobachtung: Für die frühen Phasen des Chalkolithikums (dies gilt, wie wir später sehen werden, auch für den Übergang zur Bronzezeit) ist es nicht möglich, einen kulturellen Horizont einzig und allein auf der Basis verschiedener Metallbruchstücke zu bestimmen, die den Verbrauch und Verschleiß durch die Zeiten etwas besser überstanden haben. Das Studium der Töpferei ist also in jedem Falle wichtig, auch wenn nur Bruchstücke vorhanden sind; denn atmosphärische Einwirkung kann sie nicht angreifen und zerstören. Insgesamt können wir eine Entwicklung der Töpferei verfolgen, in der einfache Zierformen zu einem ausgearbeiteteren Stil übergingen, der im frühen Neolithikum Leder- oder Schilfbehälter nachahmte, später aber Metallformen übernahm, die es heute nicht mehr gibt. Dabei wurden die gemalten Verzierungen durch die natürliche Umgebung angeregt (dies gilt vor allem für die Tierfiguren). Sie zeigen aber auch eine Tendenz zu

Oben: Auf den Terrakottatrinkbechern aus Susa (4000 bis 3500 Chr.) überwiegen stilisierte natürliche Motive. Bei diesem Beispiel stellen die Parallelstriche um den oberen Teil des Gefäßes eine Gruppe von langhalsigen Wasservögeln dar.

Rechte Seite: Eine Konstruktionsphase bei der Errichtung des weißen Tempels in Uruk. Die Säulen sind mit einer Art Mosaik in Form unzähliger verschiedenfarbiger Tonkegel überzogen.





Oben links: Gegenstände aus Bronze, die in Tappe Hesar in der Berggegend südlich des Kaspischen Meers gefunden wurden. Die Datierung ist noch umstritten, aber es wird allgemein angenommen, daß sie aus der ersten Hälfte des dritten Jahrtausends v. Chr. stammen.

Oben rechts: Zwei Beispiele typischer Verzierung der Töpferkunst von Samarra (einem Ort am Mittellauf des Tigris), die in das frühe 6. Jahrtausend v. Chr. datiert werden.

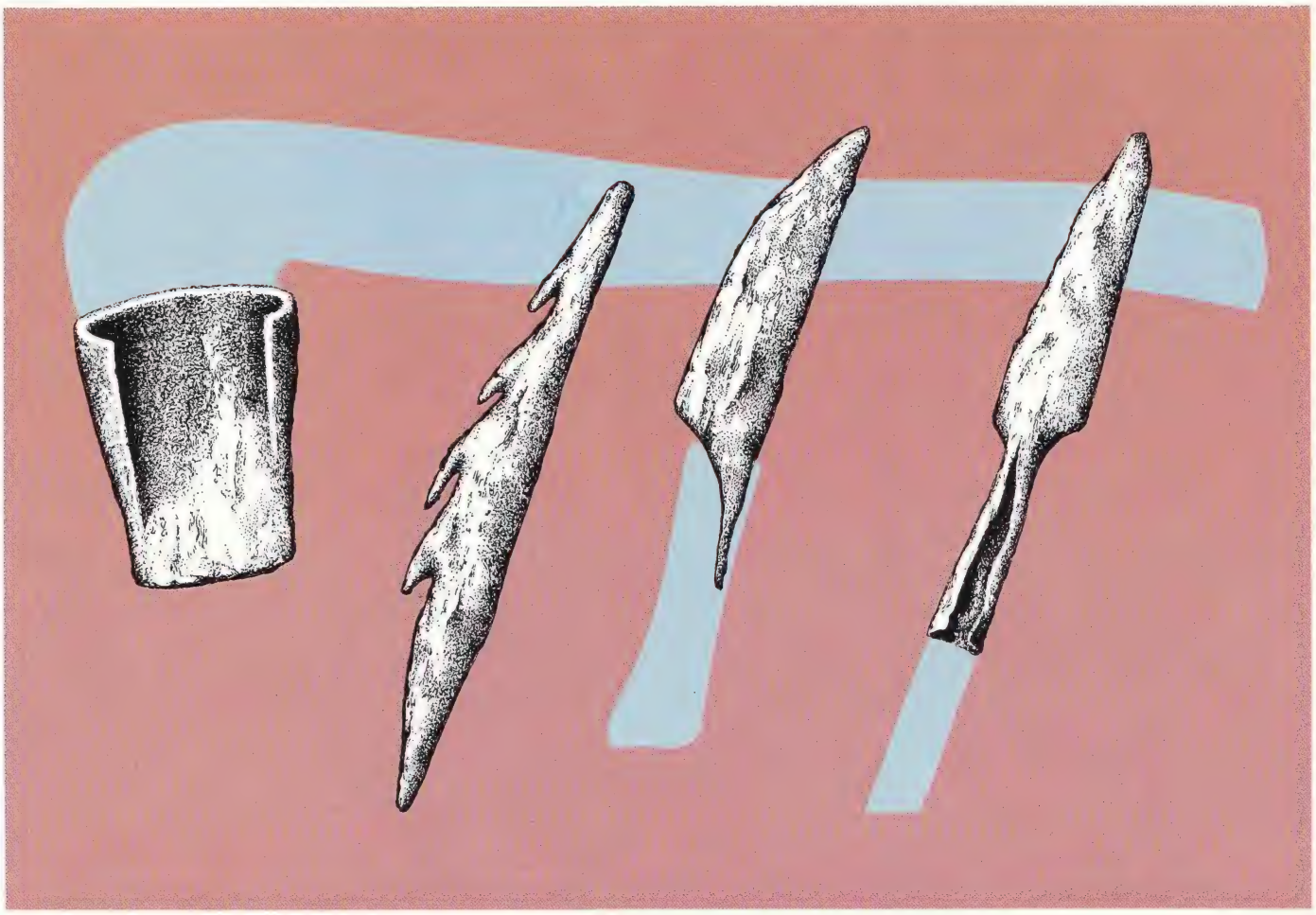
komplexen geometrischen Formen; einige sehr schöne Beispiele dafür haben wir in Funden aus *Elam* und *Samarra* am Ostufer des Tigris.

Im Tal des *Indus* verwendete man Kupfer seit etwa 3600 v. Chr. oder vielleicht sogar schon früher. – In *China* dagegen tauchte Kupfer erst kurz vor 3000 v. Chr. auf.

In *Nordamerika* wird das sog. „erste Kupferzeitalter" durch ein reiches Sortiment von Werkzeugen dokumentiert, die aus dem „natürlichen" (gediegenen) Kupfer durch Hämmern kalt bearbeitet worden waren. Das Schmelzen war den dort lebenden Menschen (auch späterhin) unbekannt. Es ist daher nicht verwunderlich, daß dort auch keine entsprechende Ausbreitung der wichtigsten Kupferlegierung, der Bronze, stattfand, nachdem sich das Kupfer in Amerika ausgebreitet hatte.

In *Mexiko* und im mittleren *Südamerika,* wo später die großen Zivilisationen der Neuen Welt entstehen sollten, erlernte der Mensch erst sehr spät die Verwendung von Kupfer, und zwar (genau wie bei Silber und Gold) entweder zur Verzierung oder für religiöse Zwecke. Die Siedlungen, die mit den frühesten Phasen der Kupferbearbeitung verbunden sind, waren hier nur von vorübergehender Dauer; wahrscheinlich waren sie von Nomaden bewohnt.

Kupfer kam auch in *Osteuropa* vor, ebenfalls in der Nähe von Flüssen. Die sog. *Aunjetitzer Kultur* (benannt nach dem Ort *Únětice,*



Es gibt Indizien für eine sehr frühe Kupferzeit in Nordamerika. Hier sind einige Gegenstände dieser Periode aus Wisconsin abgebildet.

unweit von Prag) war weit verbreitet. Sie besaß sowohl Kupferartefakte als auch ein gut zusammengestelltes Arsenal von Flintwerkzeugen und erstreckte sich über ein riesiges Gebiet in Deutschland und der heutigen Tschechoslowakei, mit Seitenlinien in Österreich und der Schweiz. Die erste chalkolithische Phase in der Aunjetitzer Kultur entwickelte sich etwas früher als 2000 v. Chr.

In *Złota* an der Weichsel (Polen) wurden Kupferkörner gefunden. Die Töpferwaren dieses Gebiets gehörten zur Schnurkeramik. Es gab ferner viele Gegenstände aus Bernstein.

In *Tripolje* in der Nähe von Kiew entwickelte sich um 2000 v. Chr. eine reiche neolithische Kultur (bekannt für ihre geometrisch geformten Gefäße, die in leuchtenden Farben bemalt waren) zum Chalkolithikum hin weiter. In dieser Gegend fand man Angelhaken aus Kupfer. Hier wurden Rinder gezüchtet und Weizen, Gerste und Hirse angebaut. Obwohl die Siedlungen ziemlich groß waren, scheinen sie nur vorübergehend bewohnt gewesen zu sein.

In Ungarn begann das Chalkolithikum um 3000 v. Chr. an der Theiß, einem Nebenfluß der Donau *(Theißkultur)*.

In dem namengebenden Ort von *Los Millares* (bei Almería, Spanien) gab es ein befestigtes chalkolithisches Dorf, in dem die Anfänge einer Metallbearbeitung zu erkennen sind. Unter seinen Keramikerzeugnissen

befand sich auch das berühmte glockenförmige Gefäß, der sog. *Glockenbecher.* Diese Gefäße waren mehr als 500 Jahre lang in ganz Europa in Gebrauch; sie verbinden das Neolithikum mit dem Chalkolithikum. Mit Hilfe der C-14-Methode konnte die Kultur von Los Millares auf 2350 v. Chr. datiert werden. Auch in diesem Fall befanden sich die Siedlung und andere Nachbarsiedlungen (auch in Almería) im Bereich eines Flusses: zwischen Guadalquivir und Mittelmeer.

An den Flußufern der italienischen Halbinsel florierten ebenfalls einige chalkolithische Kulturen. Einer dieser Flüsse war die Fiora, die nicht weit von der Tyrrhenischen Küste entfernt (dort, wo sich später die Etrusker niederlassen sollten) die Täler des Arno und Tiber durchfließt. Aus der nach dem Gräberfeld von Rinaldone benannten *Rinaldonekultur* dieses Gebiets (2000 bis 1800 v. Chr.) sind Flachbeile, Dolchklingen und Pfeilspitzen erhalten. – Entlang des Flusses Sele (Kampanien), der nördlich von Paestum ins Tyrrhenische Meer mündet, florierte die sog. *Gaudokultur,* die älteste kupferführende Kulturgruppe Unteritaliens (3. Jahrtausend v. Chr.). – Eine Glockenbecherkultur existierte auch im

Bereich des Flusses Mincio (südlich des Gardasees). Die Mitglieder dieser sog. *Remedellokultur* (Gräberfeld bei Remedello, 2. Hälfte des 3. Jahrtausends v. Chr.) scheinen sich überwiegend der Viehzucht gewidmet zu haben. Gefunden wurden v. a. kupferne Flachbeile und Dolche.

Chalkolithische Spuren, die man auf Sizilien und den Liparischen Inseln fand, stammen aus einer etwas früheren Zeit. Eine lokale „Entdeckung" der Metallurgie ist jedoch unwahrscheinlich. Andererseits sind verschiedene Hypothesen über die „Einfuhr" der Metallbearbeitung auch nicht so recht überzeugend.

Die Kupferwerkzeuge, die in der Seinegegend (Frankreich) gefunden wurden und der *Seine-Oise-Marne-Kultur* zugeordnet werden, werden auf die Zeit um 2500 v. Chr. datiert. In diesem Gebiet, das bis zu den Flußbecken der drei Flüsse Seine, Oise und Marne in Nordfrankreich reichte, hatte es bereits eine blühende neolithische Kultur gegeben.

Ähnliches gilt für die *Boynekultur* in Irland, die nach den drei am Fluß Boyne gelegenen bedeutendsten Megalithgrabbauten Irlands (Dowth, Knowth und New Grange) benannt ist (Ende 3. Jt. v. Chr.).

Die Ackerbau-Viehzucht-Gemeinschaften von Tripolje (in der Nähe von Kiew) besaßen große Ländereien und bauten Weizen, Gerste und Hirse im großen Stil an. Jede Kleinfamilie besaß eine Hütte und ein gut abgegrenztes Stück Land. Es wurden vorwiegend Rinder gezüchtet. In den benachbarten Wäldern ging man auf die Jagd.

Auch England ist reich an Zeugnissen aus dem Chalkolithikum. Ihre Datierung ist zwar manchmal unsicher, sie sind aber allesamt niemals jünger als 2000–1800 v. Chr. Die „Kreise" in *Avebury* (Wiltshire) und der erste „Umbau" von *Stonehenge* werden dieser Phase zugeschrieben. Man vermutet, daß damals ein doppelter Halbkreis von Menhiren, den sog. „blauen Steinen", und die „Prozessionsstraße", die diesen Ort mit dem Fluß Avon verbindet, den bereits bestehenden Ringanlagen hinzugefügt wurden. Die blauen Steine stammten aus einem etwa 200 km entfernten walisischen Steinbruch und wurden vermutlich über das Meer und den Avon herbeigeschafft. – Die Kernstruktur des Hügels von *Silbury-Hill,* einem der größten von Menschenhand angelegten Hügel (etwa 35 m hoch) wird nach der C-14-Methode auf 2145 v. Chr. datiert; die Toleranzgrenze der Meßergenisse liegt bei ± 90 Jahre. Probeschnitte in das Innere des Hügels zeigten, daß dieses ungewöhnliche Monument in zwei Phasen angelegt wurde. Die erste Bauphase wurde anhand organischer Überreste (keine Leichen) zeitlich festgelegt. Der Hügel scheint keine Grabkammern zu enthalten.

Das Ende des Neolithikums erstreckte sich über 2000 Jahre und umfaßte in den einzelnen Gebieten der Erde unterschiedliche Epochen. Die *Kupferzeit* dauerte in manchen Teilen Europas nicht viel länger als ein Jahrhundert (für manche Orte kann man mit Sicherheit behaupten, daß Kupfer und Bronze fast zusammen erschienen). In China dagegen dauerte sie beinahe 1000 Jahre und in Ägypten 1500 Jahre. Gibt es in allen diesen Kulturen gemeinsame Komponenten?

Unten rechts: Zwei kleine Räder aus der Bronzezeit (Norditalien).

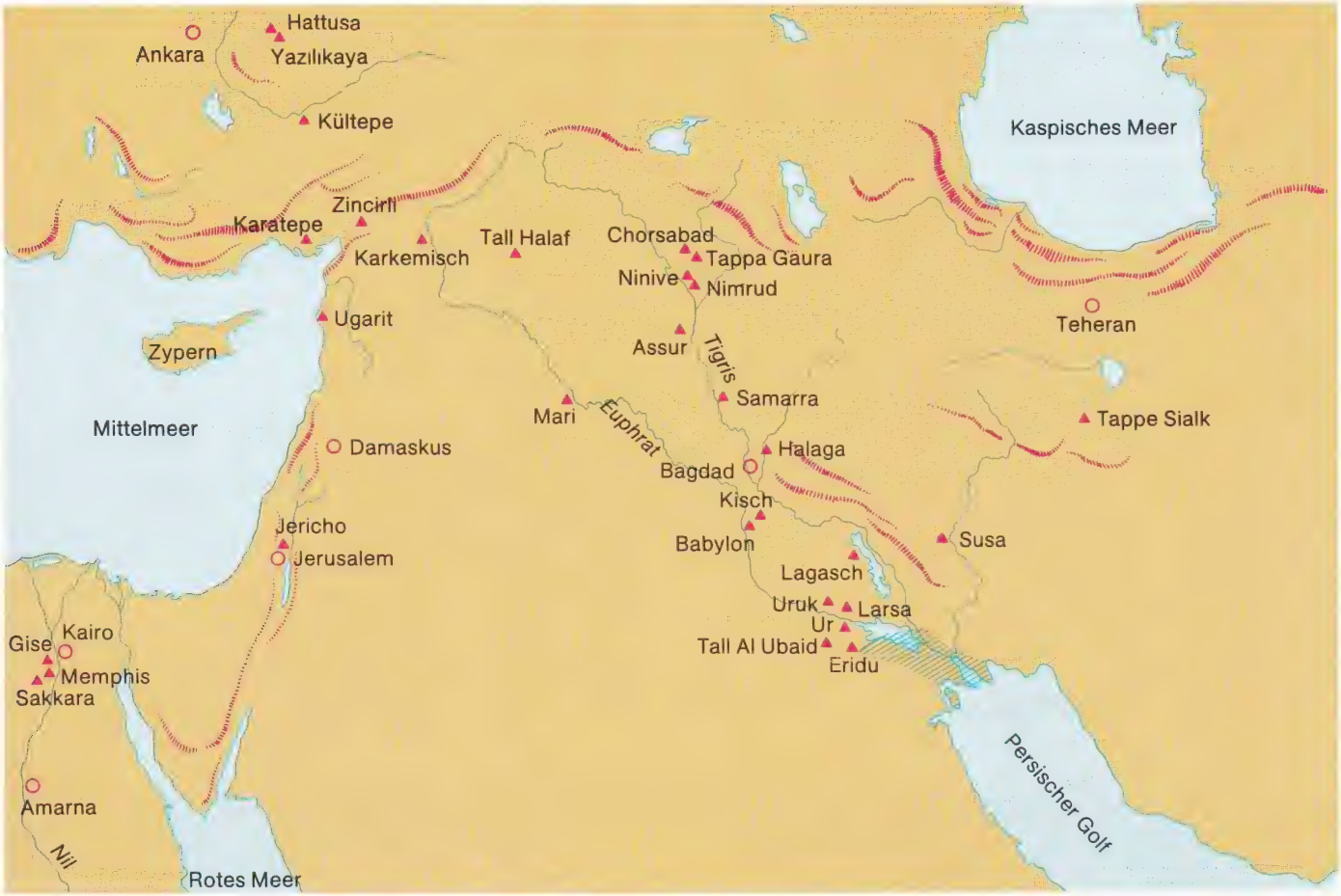
Unten links: Kupferaxt aus der Kupferzeit Italiens.

Zunächst einmal muß man wissen, daß das Kupfer erstmals im Fruchtbaren Halbmond „entdeckt" wurde (ob in Mesopotamien, Ägypten oder Anatolien, ist dabei unwichtig), also in einem Gebiet, das schon die Wiege der Töpferei gewesen war. Hier und da wurden neolithische Traditionen in chalkolithischen Siedlungen fortgeführt (in Hacılar z. B.). Manche Siedlungen erlebten eine Phase, in der beide Lebensweisen nebeneinander existierten. Wesentlich ist jedoch, daß einige wenige Orte in Gebirgsgegenden, in denen das Rohmaterial Kupfer zugänglich war, als „Kupferquellen" Bedeutung erlangten. Ähnlich war es schon mit dem Obsidian gewesen. Aber rein mengenmäßig gab es viel mehr Kupfergegenstände in den Tälern in der Nähe der Flüsse; sie sind auch älter als andere, die in der Nähe der Kupferbergwerke gefunden wurden.

Diesen scheinbaren Widerspruch kann man mit einem Wort aus der Vorgeschichte erklären. Damals nannte man den Euphrat „Urudu" oder „Uruttu", was wörtlich etwa „Kupferfluß" bedeutet, weil seine Wasser Kupferstücke (vielleicht auch andere Metallerzbrocken und Goldklumpen) durch die Täler trugen, wo der Mensch sie aufsammeln konnte, ohne sie zuerst durch mühevolle Arbeit aus den Bergwerken herausholen zu müssen.

Es gibt aber eine weitere sehr überzeugende Erklärung, die es uns ermöglicht, uns eine allgemeines Bild vom Leben in dieser Periode zu machen. Mit unseren Kenntnissen über vorgeschichtliche Siedlungen im Nahen Osten können wir eine Rahmenvorstellung entwickeln, in der wir die verschiedenen Kulturschauplätze unterbringen können.

Teilaspekt der großen megalithischen Anlage von Avebury (Wiltshire, England). Diese Anlage wird der Kupferzeit (2000–1800 v. Chr.) zugeordnet.



Wasser

Während des Neolithikums gab es überall einen ständigen und gleichmäßigen Bevölkerungsanstieg. Die alte Sozialstruktur des Stamms änderte sich allmählich; sie wurde immer komplexer und entwickelte sich zeitweilig zu einer städtischen Organisation. In jedem Dorf nahm die Zahl der Einwohner zu. Aufgaben wurden festgelegt, und es bildeten sich mehrere Unterteilungen in Sozialgruppen, die nichts mehr mit der Familienstruktur zu tun hatten. Mit dem Übergang zum Chalkolithikum brachten neue Materialien eine Verschiebung in der Rollenverteilung.

Die Gleichsetzung Frau = Herd mit all den dazugehörigen Aufgaben, einschließlich der Herstellung der ersten Töpferwaren, begann ihre Bedeutung zu verlieren. Der Bedarf an Töpfereierzeugnissen, die gewissen Anforderungen genügten, erforderte die Verwendung entsprechender Brennöfen; der häusliche Herd genügte für diese Zwecke nicht mehr. Und da die Nachfrage nach Tonwaren immer größer wurde, mußten die Voraussetzungen für eine „Massenproduktion" geschaffen werden. Auf diese Weise entstand die *Töpferwerkstatt.*

Diese Entwicklung fand bereits im Neolithikum statt und fiel mit der Tatsache zusammen, daß die Frauen zu ihrer „Küchenarbeit" zurückkehrten und mehr Zeit hatten für das jetzt überall sehr populäre Spinnen und Weben. Dieser Trend verstärkte sich noch, als man anfing, Metall zu bearbeiten, das sich seiner Natur nach eher für Männer eignet, die entsprechend bald Handwerker, Schmiede und Schmelzer wurden.

Oben: Karte von Mesopotamien mit den wichtigsten frühgeschichtlichen und geschichtlichen Stätten. Die gestrichelte Zone war früher vom Meer bedeckt: Ur, Uruk und Eridu waren somit Küstenstädte.

Eine derart komplexe Serie von Erscheinungen konnte sich nur dort entwickeln, wo Nahrung reichlich vorhanden war, wo sich das kleine „Spiel", Getreidesamen in die Erde zu stecken, damit sie später als Pflanzen hervorsprössen, schon seit geraumer Zeit als sehr wirksam erwiesen hatte. Ein weiteres für die Landwirtschaft unentbehrliches Element war das Vorhandensein von *Wasser*. Zuerst (wahrscheinlich im vorkeramischen Neolithikum in Jericho) bevorzugte man Dürregebiete, die durch sog. *Wadis* (Wasserläufe mit unregelmäßigem Zulauf) in mehr oder weniger regelmäßigen Abständen fruchtbar gemacht wurden. Aber offensichtlich machte eine derartige Abhängigkeit vom Wasser das Leben unsicher. Allerdings haben die Wadis, da sie nicht allzuviel Wasser führen, auch nicht die schlechte „Angewohnheit" der Flüsse, das Land, durch das sie fließen, plötzlich zu überschwemmen.

In der Nähe von großen Flüssen gibt es natürlich niemals wirklichen Wassermangel. Deshalb entwickelten sich die größeren Siedlungen stets an den Flußufern. Bald schon bemerkte der Mensch, daß der Boden in Flußnähe nicht lediglich durch die Feuchtigkeit „besser" wurde. Das Flußwasser enthielt darüber hinaus auch etwas, das den Erdboden fruchtbarer machte. Es riß in seinem Lauf Schlamm und Abfall mit sich und bereicherte den Boden dadurch, daß es all dies am Unterlauf des Flusses ablagerte. Die Überschwemmungen hinterließen immer eine dicke Schlickschicht, auf der Nutzpflanzen besser gediehen.

Oben: Für die Entwicklung der ersten städtischen Kulturen war das Wasser unentbehrlich, weil es nicht nur eine intensive und ertragreiche, durch die Jagd und den Fischfang ergänzte Landwirtschaft förderte, sondern weil es auch ein „Kommunikationsmittel" von unschätzbarem Wert war.

Abbildung auf den beiden folgenden Seiten: Rekonstruktion einer städtischen Siedlung vom Typ derjenigen in Uruk. Die aus Schilf gebauten Hütten ähneln denen, die heute im Südirak zu finden sind. Im Vordergrund ein typisches Boot, wie es noch heute von Schiffern auf dem Euphrat benutzt wird.

Auf diese Weise wurden die Flüsse regelrechte „Mitarbeiter" der Bauern. So ist es nur verständlich, daß dadurch nicht nur die täglichen Nahrungsmengen des einzelnen zunahmen (wir sprachen früher bereits von 4 000 kcal pro Tag), sondern daß sich auch der allgemeine Reichtum der Gemeinschaft mehrte. Bald waren ganze Gemeinschaften am Fluß zu Hause, und große Dörfer breiteten sich an den Flußufern aus.

Am Ende der Eiszeit, als sich die Wärmeperiode etablierte, schmolzen ungeheuere, seit Jahrtausenden bestehende Eismassen zu ebenso ungeheuren Wassermassen. Es entstand eine Vielzahl von Wasserläufen, die der Mensch im Mesolithikum und später im Neolithikum als „Straßen" benutzte. Während des Neolithikums überquerte der Mensch sogar breite Meeresgebiete (z. B. das Meer zwischen Afrika und Sizilien). Jeder konnte jetzt den Fluß leicht überqueren oder sich auf ihm schnell zu einem benachbarten Ort befördern lassen. Nach kurzer Zeit war der Fluß ein Hauptfaktor des alltäglichen Lebens. Es ist daher nicht verwunderlich, daß sehr viele Artefakte (unter ihnen Gegenstände aus dem „neuen Metall") in Siedlungen am Flußufer gefunden wurden, auch wenn sie wahrscheinlich in einer ganz anderen, abgelegenen Gegend hergestellt worden waren.

Sowohl in der Geologie als auch in der vor- und frühgeschichtlichen Archäologie ist es eigentlich unmöglich, sich den Übergang von einer Periode zur anderen als eine „Tür" vorzustellen, die sich plötzlich schließt, während eine andere Tür sich auftut. Es gibt immer eine Zwischenperiode, in der ein gewisser Gegenstandstyp zunehmend häufiger vorkommt, bis er sich fest etabliert hat.

Offenbar hängt die Häufigkeit, mit der gewisse Ereignisse stattfinden, von der Gesamtanzahl der beobachteten Ereignisse dieser Art ab; so jedenfalls lehrt es die Statistik. Entsprechend hängt die Wahrscheinlichkeit, Gegenstände aus Kupfer zu finden, von der Gesamtanzahl solcher jemals zutage getretener Gegenstände ab; dies bedeutet schließlich, daß sie vom Reichtum der jeweils gemeinten Kultur abhängt, der seinerseits durch die Anzahl der in dieser Kultur vereinigten Menschen bedingt wird.

Im frühen Chalkolithikum bestand die *Sichel* als landwirtschaftliches Grundwerkzeug immer noch aus Holz, in das man eine Reihe von Mikrolithen als Klinge einsetzte (wir erwähnten bereits die raffinierte Methode, die in Tall Al Ubaid üblich war). Bald jedoch stellte man Sicheln aus Kupfer her. Ein Flintwerkzeug hält zwar lange, aber wenn es erst einmal kaputtgeht, wirft man es besser gleich weg. In diesem Sinne waren die Flintsicheln von Tall Al Ubaid zwar sicher sehr gute Werkzeuge, sie waren aber wohl wenig haltbar. Werkzeuge aus Metall hingegen können sich zwar leicht verbiegen und sogar brechen, aber man kann sie auch leicht neu gießen; das Material wird wieder fest und kann wieder „benutzt" werden. Die hohe Beanspruchung, der das leicht verformbare Kupfer in Form von Sicheln und Messern ausgesetzt wurde, wird den Menschen dazu ermuntert haben, immer wieder herumzuexperimentieren, wie man das Metall härter und widerstandsfähiger machen konnte. Diese Versuche führten zur Erfindung von Legierungen, unter denen *Bronze* bald die bevorzugte wurde.

Die Stein„industrie" ging natürlich zurück, wenigstens was Wurfgegenstände betraf. Pfeile und Speere waren jetzt meistens mit Kupferspitzen versehen. Solche Waffen durchbohren ihr Ziel viel leichter als Waffen mit Flintspitzen. Außerdem lassen sich Metallspitzen leichter schleifen, anspitzen und geradebiegen. Möglicherweise wurde durch

Mit der Entdeckung der Metalle und der Entwicklung neuer Techniken in der Metallverarbeitung konnten die landwirtschaftliche Geräte wesentlich verbessert werden. Hier eine kleine Sichel aus der Bronzezeit (Norditalien).

die neue Waffenart das Interesse am Jagen und am Fischfang neu geweckt. Die Sumpfgebiete neben den bebauten Feldern boten dafür jedenfalls ideale Jagdgründe.

In den größeren Siedlungen gab es naturgemäß größere Abfallhaufen, die eine Reihe von Tieren anlockten, die vom Menschen entweder toleriert oder domestiziert wurden. Jedenfalls entstand durch diese in der Nähe der Siedlungen umherstreifenden Tiere eine völlig neue Einstellung zur Jagd. Jagdexpeditionen auf der Pirsch nach größerer Beute, die mehrere Tage dauerten und die ebensogut mit dem Tod der Jäger enden oder (was für die Gemeinschaft noch schlimmer war) sich als ergebnislos herausstellen konnten, wurden allmählich aufgegeben. Statt dessen bevorzugte der Mensch die Jagd „vor der eigenen Tür", eine Methode, die nicht die Abwesenheit eines Großteils der männlichen Bevölkerung von der Siedlung über mehrere Tage hin verlangte und die trotzdem fast immer von Erfolg gekrönt war. Man kann diese unterschiedlichen Formen der Jagd mit dem Unterschied zwischen einer heutigen Bärenjagd bei den Eskimos und einer Fasanenjagd in einem Jagdreservat vergleichen: weniger weidmännisch-sportlich, dafür aber auch erheblich weniger anstrengend.

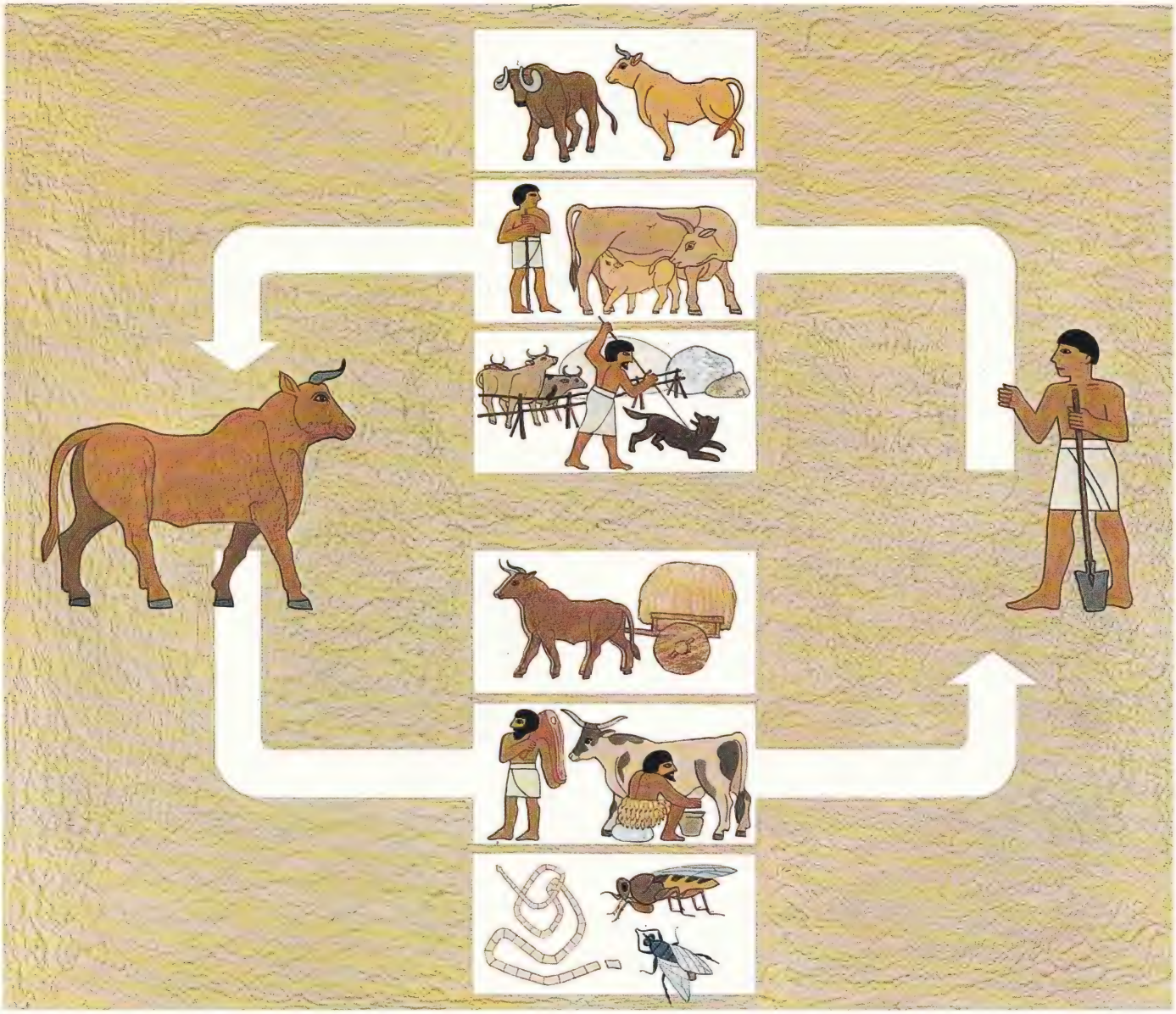
Natürlich mußte dieser neue Jagdstil in das seit undenklichen Zeiten bestehende Gleichgewicht der Arten eingreifen. So wurden einerseits manche Tiere durch die Umweltveränderungen, die dadurch entstan-

Ein typisches Boot, wie es heute von den Indios am Titicacasee in Bolivien benutzt wird.

Auch im Metallzeitalter war die Jagd immer noch eines der geeignetsten Mittel der Nahrungsbeschaffung. Auf diesem assyrischen Flachrelief ist eine Hirschjagd dargestellt, bei der man Netze verwendete (Britisches Museum, London).

den, daß der Fluß vom Menschen „gezähmt" wurde, geradezu ermuntert, sich den menschlichen Siedlungen zu nähern. Andererseits erkannten die vom Menschen angelockten Tiere, daß sie anderen in der Gegend lebenden Tierarten und obendrein dem Menschen selbst, der sich plötzlich entschloß, sie zu fangen, den „Krieg" erklären mußten.

Eine ganze Gruppe solcher Tiere spezialisierte sich damals allmählich darauf, mit dem Menschen „gemeinsame Sache" zu machen. Diese Gruppe – gemeint sind die *Rinder* – wird noch heute besonders bevorzugt. Groß und imstande, beträchtliche Mengen nahrhaftes Fleisch, Milch und Felle zu liefern, stellten die Rinder auch ihre Muskelstärke für den „Überlandtransport" und für die Arbeit auf den Feldern zur Verfügung. Vom Menschen beschützt zu werden, erwies sich für die Rinderarten als sehr vorteilhaft: Früher waren sie den Angriffen der Raubtiere ausgesetzt, gegen die sie sich lediglich mit ihrer



Die Viehzucht bringt allen Beteiligten Vor- und Nachteile: Der Mensch schützt seine Haustiere vor den Raubtieren und betreibt eine Zuchtwahl unter den verschiedenen Arten. Die Haustiere liefern dem Menschen Nahrung, begünstigen aber zugleich die Übertragung von Parasiten.

Muskelkraft und mit ihren spitzen Hörnern zur Wehr setzen konnten, und zwar ohne die Behendigkeit und Geschwindigkeit ihrer Antilopenvettern. Jetzt aber gediehen diese Lebewesen prächtig.

Wir wissen, daß in vielen Gebieten der Erde (besonders in Indien) die Vorzugsstellung der Rinder, unterstützt durch eine komplexe Serie religiöser Gebote, für die menschliche Gemeinschaft von Schaden ist. Unter anderen unwillkommenen „Geschenken" liefern die domestizierten Rinder ja auch Parasiten (z. B. Bandwürmer und viele Insekten), die sich bei den Menschen ebenfalls richtig zuhause fühlen: allen voran die Fliegen, einschließlich der Tsetsefliege, die der Überträger der Schlafkrankheit ist.

Doch zurück zum Wasser! Der durch das Hochwasser angeschwemmte Schlick erhöhte, wie bereits erwähnt, die Fruchtbarkeit des Erdbodens. Es war jedoch wichtig, daß der Schlick auf den Feldern blieb

Die Geschichte jedes Zeitalters und jedes Ortes zeigt uns, wie eine rationelle Nutzung von Wasserquellen für den Fortschritt unerläßlich ist. Dies wird in der Aufnahme durch das Bild eines künstlichen Sees mit Damm und Kanalanlage in der Schweiz veranschaulicht.

und nicht durch das Wasser wieder zurückbefördert wurde, wenn der Fluß wieder in sein Bett zurückströmte. Daher organisierte der Mensch seine Arbeit und lernte es, riesige Systeme zu errichten, um den Fluß zu „kontrollieren": Reservoire, Deiche und Kanäle, die alle den unschätzbaren Schlick auf die Felder befördern und das überflüssige Wasser ableiten konnten.

Diese fortwährende regulierende Tätigkeit des Menschen, welche die positive Wirkung des Flusses intensivierte und alle möglichen Schäden ausschaltete, verbindet man mit dem Zeitalter des Kupfers und ganz allgemein des Metalls. Ohne diese Tätigkeit hätte sich der Ackerbau – die große neolithische Erfindung – nicht in diesem Stil, d. h. wie eine Kettenreaktion, entwickeln können.

Dabei war die *Flußregulierung* gar nicht so einfach. In diesen Gegenden und besonders am Unterlauf der Flüsse Tigris und Euphrat trägt der Erdboden immer noch die großen „Narben" von gewaltigen, furchteinflößenden Überschwemmungen. Diese hatten solche Ausmaße, daß sie als die biblische *Sintflut* in die Legende eingegangen sind. Sicher ist jedenfalls, daß diese Gebiete mehr als einmal große Überschwemmungen erlebten und daß jede einzelne dieser Katastrophen alles im Umkreis vernichtete – Felder und Städte –, so daß die Menschen

Die Sintflut, eine ungeheure Naturkatastrophe, die im mesopotamischen Altertum stattfand, und die Geschichte von Noah hat zahlreiche Künstler aller Zeiten inspiriert. Hier die Wiedergabe eines Gemäldes des italienischen Malers Iacopo Bassano (1517/18–1592), das im Dogenpalast (Venedig) hängt.

danach wieder ganz von vorn anfangen mußten, genau wie Noah in der Bibel, der in seiner Arche der Katastrophe entging.

Beim Wiederaufbau erinnerte man sich jeweils nicht nur an das, was man früher gelernt hatte, sondern man erprobte immer wieder etwas Neues. Man experimentierte mit neuen Arten von Nutzpflanzen und mit neuen Sicherheitsmaßnahmen gegen die Urgewalt des Wassers. Vielleicht ist die Geschichte von Noah, der, nachdem er die Arche verließ, Weinreben anpflanzte, eine Zusammenfassung aller menschlichen Erfahrungen dieser Zeit.

Die Mittelsmänner

Ein wirksames Bewässerungssystem verlangte die organisierte Zusammenarbeit vieler Mitglieder der Gemeinschaft. Nur in größeren Gemeinschaften war ein so gigantisches Unternehmen möglich. Komplexe soziale Strukturen wurden erforderlich, die sich dann in den verschiedenen großen Zivilisationen der folgenden Epochen eine Sonderstellung erwarben.

Am Anfang wurde alles auf kommunaler Basis organisiert. Aber bereits im Chalkolithikum, als die landwirtschaftlichen Flußsiedlungen

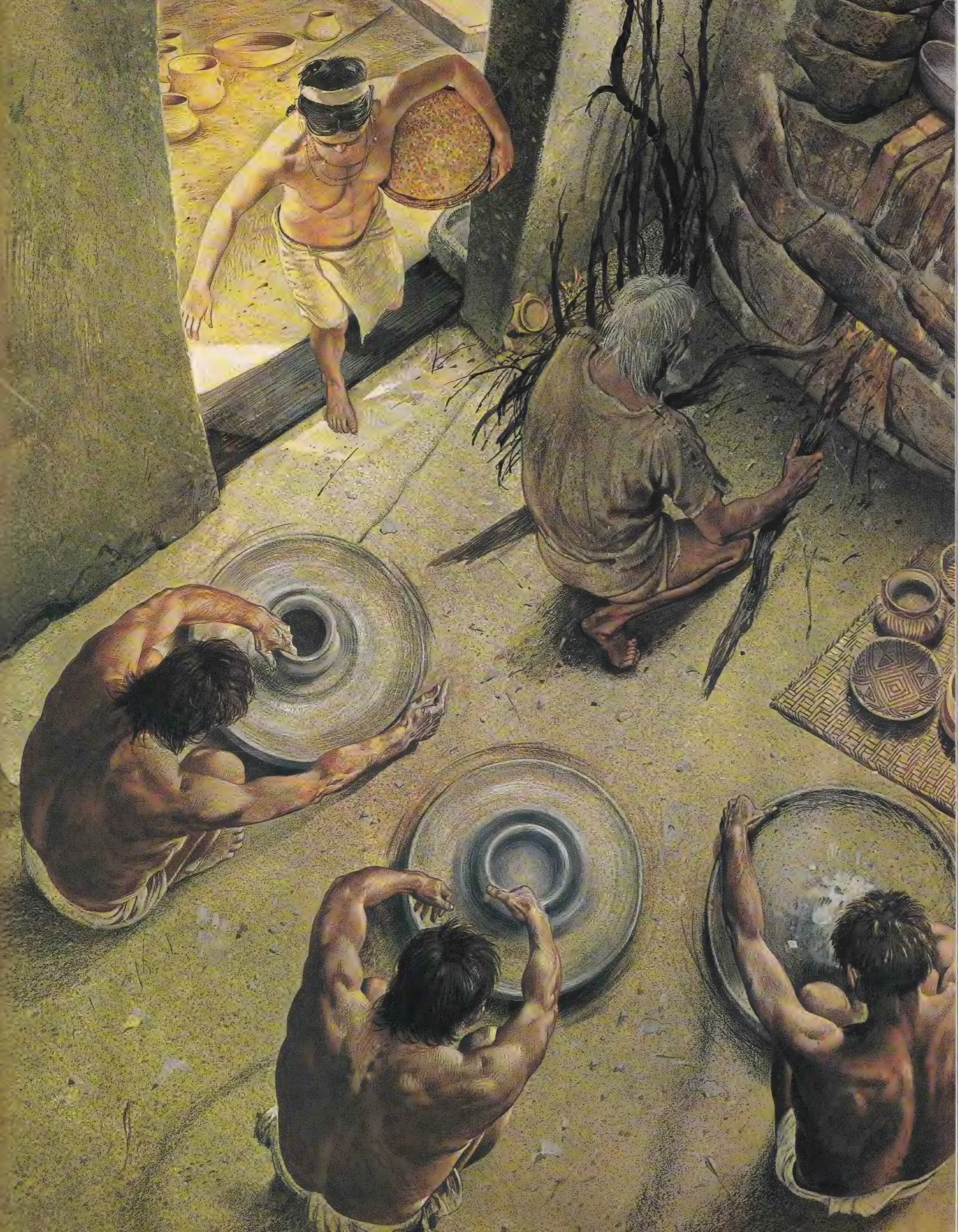
Oben: Gruppe von ägyptischen Priestern auf einem Flachrelief aus der Zeit der 19. Dynastie.

aufblühten, entwickelten sich bestimmte Spezialisierungen, die bald dazu führten, daß manche Mitglieder der Gemeinschaft nichts mehr mit der eigentlichen Produktion von Nahrungsmitteln zu tun hatten.

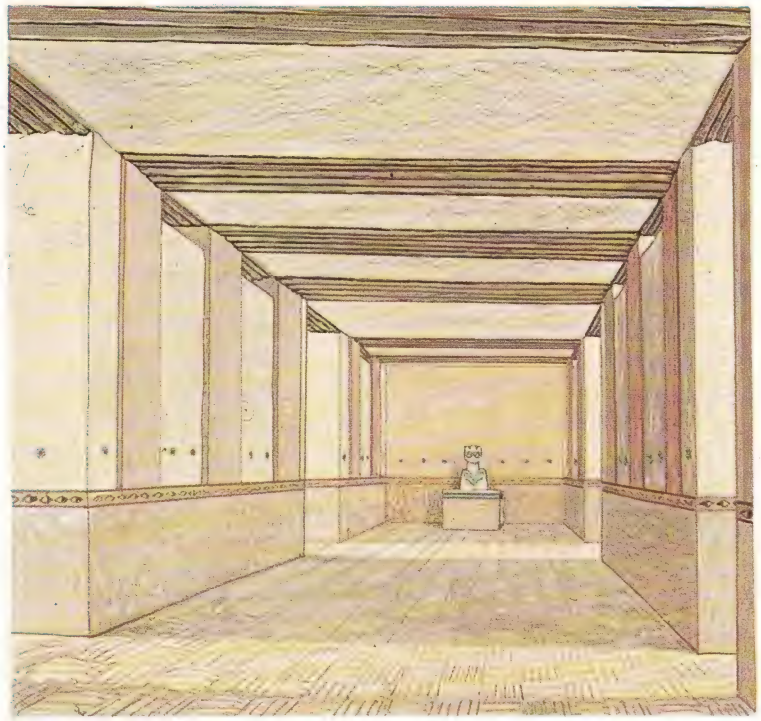
Die Töpferei im großen Stil und die darauffolgende Entwicklung der Metallverarbeitung erlaubten es einigen Mitgliedern der Gemeinschaft, sich weniger anstrengend zu betätigen als andere. Die *Handwerker* beschränkten sich nun im großen und ganzen darauf, Gegenstände anzufertigen, da sie nicht mehr in der Landwirtschaft tätig sein mußten, und wurden von der Gemeinschaft ernährt. Die Gemeinschaft mußte also, um alle ernähren zu können, mehr produzieren. Die Tatsache, daß sich manche Mitglieder auf irgendeine Tätigkeit (z. B. das Gießen von Metall oder die Metallbearbeitung) spezialisierten, wurde allgemein akzeptiert.

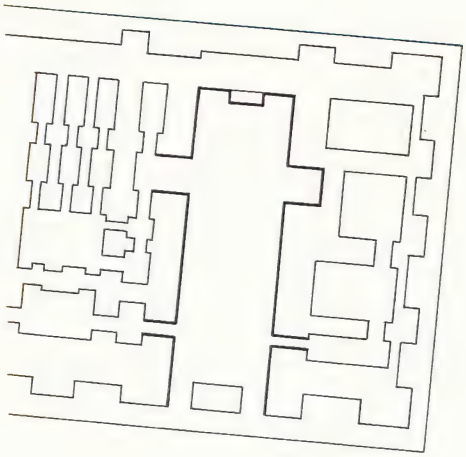
Die Überlegungen, die dazu führten, daß der Mensch hierarchische Strukturen entwickelte, waren also in ihren Anfängen ganz und gar praktischer Natur. Die Strukturen wurden erst allmählich zunehmend ausgearbeitet, bis sie schließlich zu einer rücksichtslosen Maschinerie der Ausbeutung wurden. Tatsächlich hatte es bereits einmal einen Präzedenzfall gegeben, in dem Menschen andere dazu bestimmten,

Rechte Seite: Die Herstellung von Gegenständen in großem Stil machte wohl eine frühe Form von „Fließbandarbeit" notwendig.



Die Darstellung religiöser Motive erreichte in der mesopotamischen, vor allem aber in der sumerischen Kunst glanzvolle Höhen. Links eine Statuette des neusumerischen Stadtfürsten Gudea (aus Lagasch; 2080–2060), zu sehen im Pariser Louvre. Daneben die Bronzefigur eines Betenden (Larsa, frühes 2. Jahrtausend v. Chr.; Louvre, Paris).





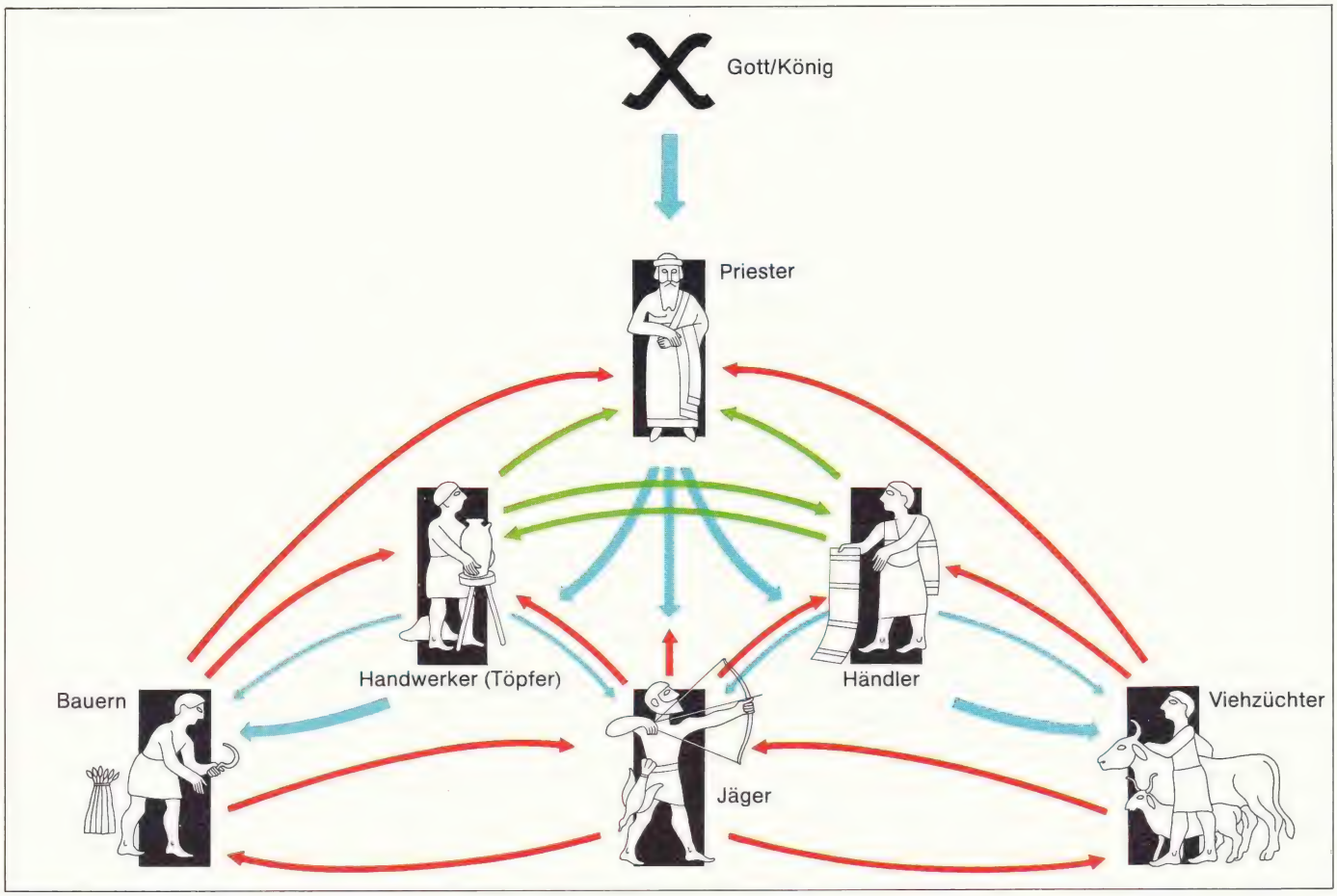
Oben: Hauptschiff und Grundriß des Augentempels in Tall Brak. Das Götzenbild war mit hartem Stein und dünnen Metallplatten bedeckt und stand auf einem mit emaillierten Kacheln verzierten Holzsockel.

bestimmte Funktionen auszuüben, von denen sie annahmen, jene „anderen" seien in irgendeiner Weise darauf „spezialisiert" (was immer das bedeuten mag). Wir meinen die etablierte *Priesterschaft.* Schon in Çatal Hüyük und wahrscheinlich auch in Jericho gab es Tempel, in deren unmittelbarer Nachbarschaft die großen Getreidespeicher errichtet wurden. Vielleicht fing dies alles im frühen Neolithikum an: Die Menschen begannen bestimmte Mitmenschen dafür zu „entlohnen", daß sie ihnen in ihrem problematischen Dialog mit den Kräften, die höher waren als die Natur, halfen. Und wahrscheinlich garantierten diese Auserwählten durch ihre Autorität die Bewahrung der von der Gemeinschaft für die Aussaat angelegten Kornlager.

Im Chalkolithikum und zur Zeit der frühen Zivilisationen entstanden immer mehr *Tempel.* Für den einzelnen wurde der Dialog mit den Göttern zunehmend komplexer und problematischer; für diejenigen hingegen, die dafür auserwählt waren, wurde er immer einträglicher. Dennoch wurde die Solidarität der Gemeinschaft gegen Angriffe von außen, wie sie für viele menschliche Gemeinschaften auch in weit zurückliegenden Zeiten typisch ist, durch die ungeheuer vereinigende Kraft eines gemeinsamen *Glaubens* gefestigt. (Bei objektiverer Betrachtung könnte man natürlich auch von gemeinsamer *Furcht* sprechen, mit der die Menschen besser fertig werden konnten, wenn sie sich jemandem anvertrauten, der gewohnt war, mit unsichtbaren Mächten Zwiesprache zu halten.)

Wir dürfen andererseits die Möglichkeit nicht ausschließen, daß die neue Gesellschaftsklasse der *Handwerker* (diese Eezeichnung ist uns sicher gestattet, ohne daß wir dabei anachronistisch werden) zur Bestätigung der Priesterkaste beitrug, die bereits seit früheren Zeiten

Abbildung auf der folgenden Seite: Als die Gemeinschaft eine Art Arbeitsteilung einführte, „unterstützten" diejenigen, die auf irgendeine Weise Nahrung besorgten (Bauer, Jäger, Viehzüchter), den Handwerker und den Kaufmann. Zusammen versorgten diese beiden Gruppen die Priester, die als Mittelsmänner zwischen einem hypothetischen Element der Koordination und allen anderen Gemeinschaftsmitgliedern fungierten. Damit eine solche Gemeinschaft funktionierte, war es notwendig, das „Koordinationselement" hoch über der menschlichen Ebene anzusetzen. In Ägypten war dieses Koordinationselement der die Gottheit verkörpernde Herrscher (der Pharao als Gottkönig), im unteren Mesopotamien war es die Gottheit selbst. Die blauen und grünen Pfeile zeigen die Ketten von Befehlen bzw. Vorschriften (auch praktischer Art) und die Zurverfügungstellung von Rohmaterialien. Die roten Pfeile stellen die Gegenleistung (Nahrungsmittel, Manufakturwaren, Wertgegenstände) für erwiesene Dienstleistungen dar.



existierte. Auch diese neue Klasse bestand aus Individuen, die „indirekt" produktiv waren, d. h. in einer Weise, die sich der unmittelbaren sinnlichen Kontrolle entzog.

Es entstand also eine Gesellschaftsstruktur, die das Übel der „Ungleichheit" mit sich brachte. Nachdem eine einzelne Art (die Art Homo sapiens) in eine Anzahl ethnischer Gruppen aufgespalten worden war (dies geschah schon mehrere tausend Jahre früher durch einen Prozeß, der in entsprechender Weise schon bei anderen Lebensformen stattgefunden hatte), wurde die menschliche Gemeinschaft nun sozusagen von innen her aufgesplittert. Es ist klar, daß diejenigen Individuen, die als Mittelsmänner zwischen „den anderen" und einer bestimmten „Spezialisierung" fungierten (z. B. in der Metallverarbeitung oder im Umgang mit unsichtbaren Mächten), von der Gemeinschaft getragen werden mußten; und die Gemeinschaft war dazu bereit.

Ungleichheiten

Es werden oft Vergleiche gezogen zwischen der menschlichen Gemeinschaft und den *Insektenstaaten.* Solche Vergleiche sind allerdings nur deshalb relevant, weil die Insekten unter den Wirbellosen einen ähnlichen Entwicklungshöhepunkt darstellen, wie ihm andererseits die Säugetiere (einschließlich Mensch) unter den Wirbeltieren verkörpern. Doch wenn wir das Buch der Urgeschichte der Erde durchblättern,

stellen wir fest, daß die „Sozialstruktur" der Bienen, Ameisen oder der Termiten mindestens einhundert Millionen Jahre alt ist, und zwar mit erheblichen biologischen Unterschieden zwischen den verschiedenen Einzelgruppen innerhalb einer einzigen Art. Ein Termitensoldat z. B. unterscheidet sich beträchtlich von einer Arbeitertermite oder von der Königin. Bei den Menschen hingegen unterscheidet sich der frühere Bauer von dem Handwerker nur insofern, als der erstere eine Sichel führte und der letztere Hammer und Zange, mit denen die Sichel hergestellt wurde. Ohne ihre charakteristischen Werkzeuge wären beide nicht zu unterscheiden.

Dasselbe gilt für den Priester, wenn man ihm sein Meßgewand abnähme oder ihm die Ausübung seiner Rituale verböte; oder für den Firmenmanager von heute, wenn er seinen Aktenkoffer aus der Hand legt; oder auch für einen Arbeiter von heute, wenn er sein Arbeitswerkzeug und seine Arbeitskleidung ablegt. Nicht nur haben sich die „Klassenunterschiede" zwischen den Menschen erst vor relativ kurzer Zeit entwickelt, sie sind vielmehr auch, da sie sozusagen auf der freien Entscheidung der Individuen für diese oder jene Klasse basieren, eine äußerst künstliche Einrichtung.

Nach seiner „Do-it-yourself-Jagdmagie" im Paläolithikum (einer Zeit, in der der Mensch mit fast hundertprozentiger Wahrscheinlichkeit seine Steinwerkzeuge „selbst" herstellte) gab der Mensch den Sympathiezauber auf und ging dazu über, unmittelbar auf die Natur einzuwirken. Dies führte ganz offensichtlich während des gesamten Metallzeitalters zur Aufteilung der Pflichten und Funktionen (auch der magisch-religiösen) auf Teams von Spezialisten.

Der Vorgang spiegelt mit großer Wahrscheinlichkeit eine schrittweise Veränderung im Verhältnis des Menschen zur Natur wider; seine Grundorientierung änderte sich. Der Mensch hatte durch den Ackerbau und (in geringerem Maße) durch die Viehzucht systematisch in gewisse Naturgesetzmäßigkeiten eingegriffen. Dies war der Beginn eines Spiels mit gewaltigen Kräften, das durchaus nützlichen Zielen dienstbar gemacht werden konnte, aber ebenso auch Chaos und Zerstörung in sich barg. Dies rechtfertigt vielleicht die Herausnahme ganzer Teile der Bevölkerung aus dem gemeinschaftlichen Bemühen, Nahrungsmittel direkt herzustellen: Sie erhielten den Auftrag, indirekt, aber wirkungsvoll auf die geheimnisvollen überirdischen Kräfte und Mächte einzuwirken. Die Bevölkerungszunahme erlaubte es der Gemeinschaft, diese Individuen zu unterstützen, ohne daß man sich dabei übernahm.

Wenn wir verfolgen, wie die Soziosphäre und die Technosphäre auf diese Weise die Biosphäre überlagern, müssen wir zugeben, daß diese ganze komplexe Mechanik von einem bestimmten Punkt ausging: dem Augenblick, in dem der Mensch sich von allen anderen Lebewesen absonderte und „anders" wurde. Jede neue „Eroberung" des Menschen kennzeichnet nur wiederum ein weiteres zerbrochenes Glied in der Kette, die ihn mit der natürlichen Ordnung der Dinge verbindet. Die Aufsplitterung der Gemeinschaft in „Klassen" und die nachfolgende Ausbeutung der einen Klasse durch die andere ist nichts weiter als ein solches gebrochenes Kettenglied.

Gleichwohl war in diesen weit zurückliegenden Zeiten Grundlage und Ziel aller sozialen Gliederungen ausschließlich das Problem der Ernährung. Die Räder des sozialen und technischen Gefüges hatten noch nicht angefangen, sich unabhängig voneinander zu drehen; autonome Bewegungszyklen gab es noch nicht.

In Ägypten war die Axt ein Machtsymbol und darum den hohen Würdenträgern vorbehalten. In der Aufnahme eine Votivaxt aus Bronze, Gold und hartem Stein (18. Dynastie, Theben). Diese Axt befindet sich im Ägyptischen Museum in Kairo.

Nebeneffekte

Die Flußgemeinschaften, die jetzt seßhaft geworden und an ein Gebiet gebunden waren, das durch andauernde, regelmäßig ausgeführte Arbeit immer ertragreicher wurde, entwickelten recht bald ein Gefühl für Eigentum. Dieses Gefühl bezog sich jedoch nicht auf persönliches Eigentum, sondern auf einen beständigeren Besitz, das Eigentum der Gemeinschaft.

In der Folge begannen die Gemeinschaften, gegeneinander Krieg zu führen und einander auszurauben; dabei war der Fluß ein wichtiges „Vehikel". Als der Mensch anfing, Handel zu treiben, benutzte er Boote, die erheblich leistungsfähiger waren als die Pirogen früherer Zeiten. Doch der Fluß brachte auch Gefahr mit sich. Er war der schnellste und direkteste Weg für den Feind bei seinen räuberischen Überfällen. Die Metalle lieferten das Material für die neuen Plagen.

Die zweifache Angst der Einwohner der Flußdörfer, einerseits vor den regelmäßig wiederkehrenden Überschwemmungen des Flusses und andererseits vor den Raubzügen der „armen" Nachbarn, machte ein Selbstverteidigungssystem gegen Gefahren, die unkalkulierbar waren, erforderlich. Noch einmal suchte man sein Heil in einer leidenschaftlichen magisch-religiösen Aktivität. Durch eine sorgfältige Untersuchung der jahreszeitlichen Zyklen waren religiöse Autoritäten in der Lage, Verhaltensweisen zu empfehlen oder zu bestätigen, die die landwirtschaftlichen Erträge erhöhen würden; sie versuchten es auch mit Vorhersagen nach genauer Beobachtung der Himmelsphänomene, die, wie der Mensch richtig bemerkt hatte, mit den Jahreszeiten zusammenhingen. In diesen frühen Gemeinschaften waren die Priester ja zugleich auch Astronomen, und sehr gute sogar.

Rechte Seite: Genau wie in Mesopotamien und Anatolien verdankten auch die europäischen Flußkulturen ihren Wohlstand dem Wasser. Das Wasser barg jedoch zugleich manche Gefahr, indem es z. B. den Feinden einen schnellen und lautlosen Angriff ermöglichte.

Unten: Überreste eines Aquädukts in der altperuanischen Küstenstadt Pachacamac in Peru, die um 200 n. Chr. gegründet wurde.

Wir dürfen allerdings unsere Augen nicht verschließen vor der Tatsache, daß die Priester beiden Bedrohungen gegenüber in unterschiedlich sinnvoller Weise reagierten: Hinsichtlich der Bedrohung durch das Wasser gelang es ihnen, durch ihre Himmelsbeobachtungen Ereignisse vorauszusagen, die für den Umgang mit dem Wasser äußerst wichtig waren. Bei dem Versuch allerdings, die „Botschaft" der Sterne bezüglich einer Bedrohung durch Kriege und Überfälle zu entziffern, wurden sie zu Astrologen und improvisierten naturgemäß. Die Kluft zwischen der Priesterschaft und dem Rest der Gemeinschaft erweiterte sich so beständig.

Das Regulieren der Flüsse führte zu weitreichenden Umweltveränderungen: Dürregebiete wurden fruchtbar, und Sümpfe trockneten aus, da der Fluß ja auch als eine Art Abwasserleitung für Tümpel aus stehendem Wasser fungierte. Dort, wo sich früher sumpfige Wasserlöcher befunden hatten, verwandelte sich die Erde in ein Dürregebiet. Andererseits entstand durch menschliche Einwirkung eine breite Zone bebauten Landes mit einer Anzahl von Zier- und Nutzpflanzen, die vom Menschen entweder toleriert oder regelrecht kultiviert wurden.

Indem er andere Lebewesen vom Flußufer vertrieb, verurteilte der Mensch sie vielleicht zum Tode; denn er löste auch eine Krise in der Pflanzenwelt aus, die wahrscheinlich sowieso nicht allzu üppig war. Die vielen Tiere, die aus ihren angestammten Biotopen flüchten mußten, hatten die neuen Biotope bald kahl gefressen. Kurzum: Indem er den Landstreifen entlang den Flußufern für sich selbst beanspruchte, verwandelte der Mensch die dahinterliegenden Zonen in eine Wüste.

Dieser Prozeß, der im Neolithikum seinen Anfang nahm, verstärkte sich im Metallzeitalter erheblich, da die Siedlungen jetzt städtische Dimensionen erreichten. Dadurch stieg der Bedarf an geeignetem Land,

während die Entwicklung des Handels (nicht nur auf dem Wasser, sondern mit der Entstehung der Karawanen auch über Land) mehr und mehr bis dahin noch menschenleere Gebiete erschloß.

In den Gebieten, die nicht zum Bereich des Fruchtbaren Halbmondes gehörten, ereignete sich etwas Alarmierendes: Die im späten Chalkolithikum notwendig werdenden Maßnahmen hatten einen Trend zur *Abforstung* zur Folge. Sobald die Gemeinschaften größer wurden, sobald das Land, das am Flußufer erschlossen worden war, nicht mehr für die Bedürfnisse der Bevölkerung ausreichte, machte der Mensch sich an die Wälder heran und rodete große Teile von ihnen, immer auf der Suche nach mehr bebaubarem Boden.

War das neue Land erst einmal urbar geworden, säte man Getreide an. Wenn die Ernte eingebracht war, zog man einfach weiter. Die Neigung des Menschen zur dauerhaft-seßhaften Lebensführung nahm jedoch ständig zu. Entsprechend wurden die Lücken im dichten Waldgürtel größer und größer. Dies war die Situation in Europa (wo sie während der gesamten Bronzezeit unverändert anhielt, da sich das Chalkolithikum hier anfangs nur sehr zögernd durchsetzte) und in Indien.

Einen Wald niederzubrennen, verursacht zweifellos Umweltschäden; es werden viele Bäume vernichtet, was für die ganze Umgebung weitreichende Auswirkungen haben kann. Aber unmittelbar nach dem Brand ist der Boden mit Mineralien und verwesenden organischen Substanzen beträchtlich angereichert und bietet daher für den Anbau von Nutzpflanzen ideale Bedingungen. Andererseits verarmt der Boden durch diese sog. Waldbrandwirtschaft und muß daher anschließend für viele Jahre brachliegen.

Bronze und Eisen

Metallegierungen

Die Kupferschmiede fanden heraus, daß ihre Arbeit schneller und glatter verlief, wenn sie dem Grundmineral andere Substanzen hinzufügten; sie erkannten auch, daß in der Regel der Schmelzpunkt der Legierungen unter denen der einzelnen Metallkomponenten lag. Es gab, besonders in Europa, viele Legierungen, die aus Kupfer und Arsen bestanden und denen man „Unreinheiten" (z.B. Antimon) beimengte.

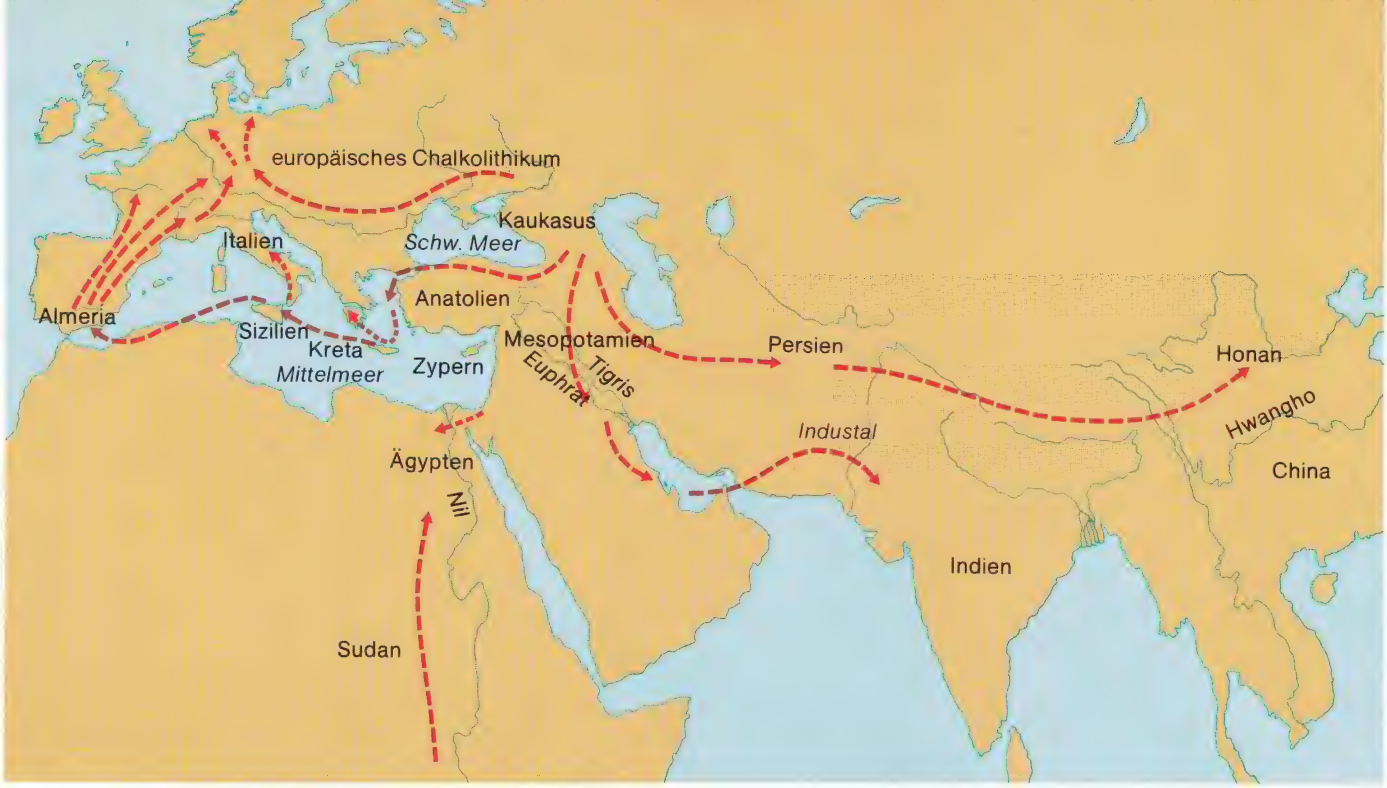
Überall, wo der Mensch *Kupfer* verhüttete, war er bestrebt, seine Metallurgie wirksamer zu machen. Besonders Kupfer neigt dazu, beim Schmelzen „Blasen" zu bilden; winzige Gasbläschen werden sichtbar, die das Metall porös und brüchig machen und den fertigen Guß schwächen. Zum Glück befand sich unter den vielen Legierungsbestandteilen, mit denen der Mensch herumexperimentierte, auch das *Zinn.* Auf diese Weise entstand ein neues Metall: Bronze.

Bronze hat den großen Vorteil, daß sie erheblich härter und dauerhafter ist als Kupfer: Gegenstände, die damals aus dieser Legierung hergestellt wurden, werden, auch nachdem sie Jahrtausende hindurch in der Erde begraben gelegen haben, meist in ausgezeichnetem Zustand aufgefunden.

Mit dem vielseitigen *Eisen* dagegen, dem Metall also, das der Bronze folgen sollte, ist es eine ganz andere Sache; denn Eisen unverändert zu erhalten, ist fast unmöglich. Jedermann weiß, daß Eisen, wenn man es der Luft aussetzt, mit der Zeit von Rost zerfressen wird. Aber auch unter der Erde entgeht es diesem Schicksal nicht.

Bronze hingegen wird bald von einem Belag überzogen, der ihr eine grünliche Farbe verleiht und weiteren Zerfall verhindert. Die Bronze besaß drei sofort erkennbare Vorzüge, die sicher das Herz der damaligen Schmiede erfreuten: Erstens ist diese Legierung härter; zweitens bilden sich beim Gießen so gut wie keine Blasen; drittens besitzt sie einen niedrigen Schmelzpunkt (etwa 600–700 °C), verglichen mit gediegenem Kupfer, dessen Schmelzpunkt bei etwas über 1 000 °C liegt.

Man vermutet, daß die Bronze dort entdeckt wurde, wo sich die Kupfermetallurgie entwickelte. Es ist allerdings auch möglich, daß bei ihrer Entdeckung die „Bergleute" eine wichtige Rolle spielten. Zinnvor-



Oben: Mögliche Ausbreitungswege des Kupfers.

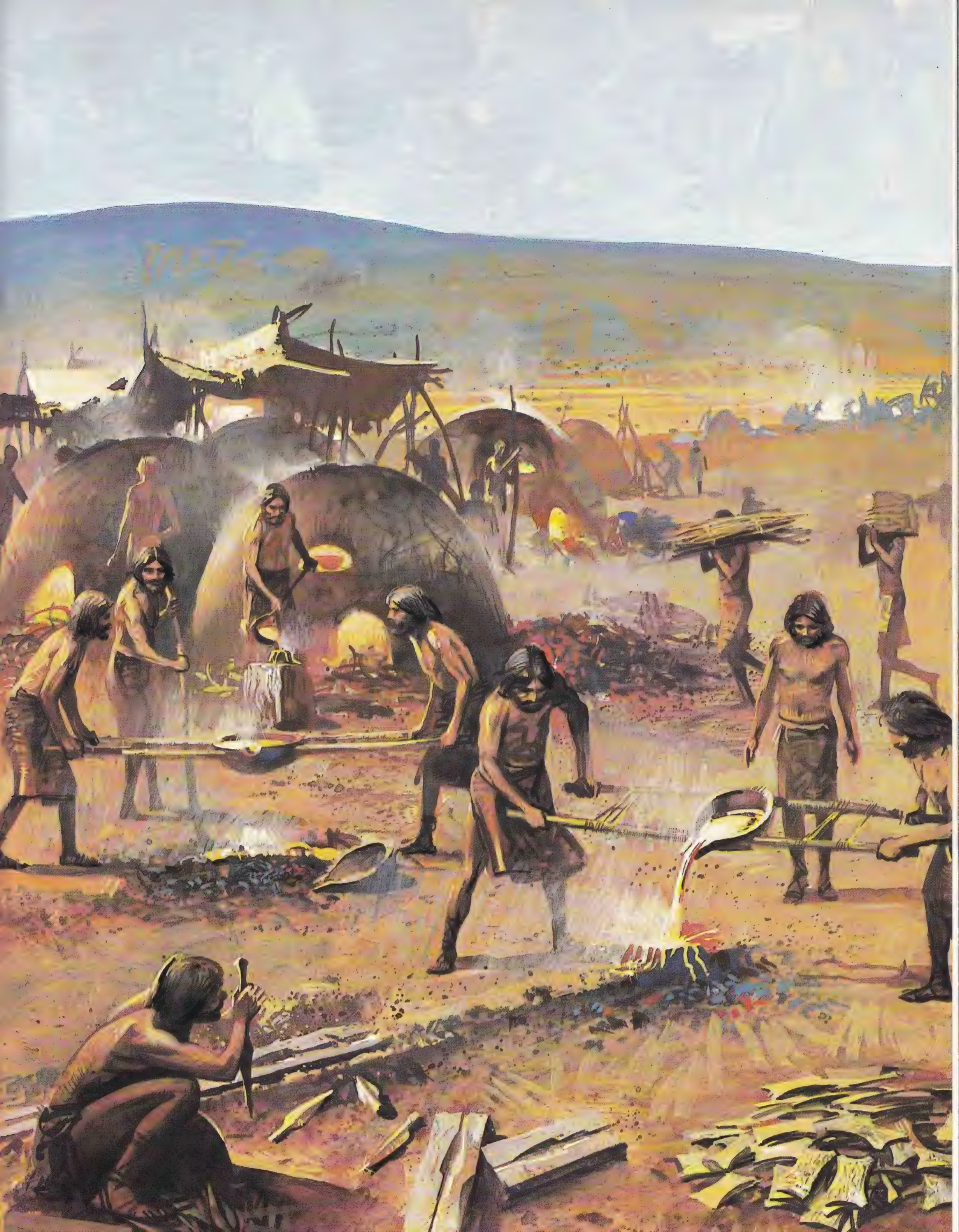
kommen treten relativ selten auf, und in manchen Gegenden (Ägypten, Mesopotamien, Indusbecken), wo sich das Chalkolithikum früh etablierte, gibt es überhaupt keine. Die neue Legierung wurde ein sofortiger Erfolg. Sie wurde in solchen Mengen verlangt, daß man sehr bald danach das Zinn, den selteneren Bestandteil, importieren mußte. Auf Grund dieser Tatsachen können wir die Ausbreitung von Zinn und Bronze verfolgen und damit zugleich einige der noch im Dunkeln liegenden Aspekte, von denen es im Chalkolithikum viele gab, ein wenig erhellen.

Häufig entstand eine bestimmte Technik an Orten, die so weit auseinanderlagen, daß es zwischen ihnen scheinbar keine Verbindung gab. Dann entdecken wir, daß diese Gegenden doch auf irgendeine Weise, nämlich durch den Handel, verbunden waren. Manchmal besitzen Nachbargebiete ähnliche Kulturen, ohne daß man eine Verbindung zwischen ihnen finden kann; es gibt nichts als ihre gemeinsame Herkunft aus einem umfassenderen, größeren kulturellen Zusammenhang.

Die einzigen *Zinnbergwerke,* die im Gebiet des Fruchtbaren Halbmondes liegen und die vorwiegend *Kassiterit (Zinnstein)* enthalten, befinden sich in *Armenien,* d. h. im asiatischen Teil Anatoliens. Wahrscheinlich wurde in diesem Gebiet die erste Bronze verhüttet, obwohl es dafür keine eindeutigen Beweise gibt. Sicher ist jedoch, daß es nach Anbruch des Chalkolithikums von Spanien aus (in der Mitte des 3. Jahrtausends v. Chr.), das reich an Zinnlagerstätten war, einen bemerkenswerten „Rückstrom" von Bronze zum Orient hin gab. Dank den überall reichlich vorhandenen Becherfunden läßt sich die Ausbreitungsrichtung dieser Rückflußwelle leicht rekonstruieren.

Rechte Seite: Bald schon erkannte der Mensch, daß es erheblich einfacher war, aus einer großen Menge Bronze eine gewisse Anzahl von Barren herzustellen. Einige Funde haben es uns ermöglicht, dieses Verfahren der primitiven Metallurgie zu rekonstruieren.

Wir begegnen hier einem Phänomen, das durch die ganze Bronzezeit hindurch und mehr noch in der Eisenzeit von größter Bedeutung war. Wenn wir die Ausbreitung eines Gefäßtyps verfolgen, dürfen wir wohl mit Sicherheit davon ausgehen, daß es auf Grund von sporadischen örtlichen Kontakten charakteristische episodische Formen gab, die jedoch alle auf einen gemeinsamen Ursprung hinweisen.



Auch heute noch ist Kupfer eines der am meisten verwendeten Metalle. Kupferminen werden daher intensiv ausgebeutet. Tagebauminen wie diese in Salt Lake City, Utah (die größte der Welt), hinterlassen scheußliche „Narben" auf der Erdoberfläche.

Wie wir bereits erwähnten, kommt Lehm in allen Erdteilen vor, so daß es kein Kunststück ist, ein Tongefäß herzustellen, das dem des Nachbarn „ähnlich" ist. Was jedoch einen bestimmten Bestandteil einer Legierung anlangt, liegt die Sache ganz anders: Entweder ist dieser Bestandteil vorhanden, oder man muß auf ihn verzichten. Hier haben wir einen Beweis dafür, daß es damals so etwas wie eine primitive Art von *Handel* gab. Die Verbreitung der Bronze in Europa war also jedenfalls dem Zinnhandel zuzuschreiben. Die Tatsache, daß in jeder Gegend, wo man die neue Legierung verwendete, identische Gefäße erschienen, scheint der endgültige Beweis dafür zu sein, daß das Metall von einigen Nomadenstämmen dorthin befördert worden war. Vielleicht waren es die gleichen Nomaden, die sich während des Chalkolithikums in Almería

niederließen. Ein anderer Handelsweg ging von Böhmen aus, wo es ebenfalls – vielleicht etwas später – Kassiteritbergwerke gab.

Solche Völkerwanderungen waren typisch für das Metallzeitalter. Es gab Kriege und Plünderungen, aber zusammen mit diesen verbreitete sich rasch das „Neue". Wie sich die Bronze im Fernen Osten ausbreitete, ist allerdings immer noch unbekannt. Die erste chinesische Kultur, in der diese Legierung verwendet wurde, war ganz und gar historisch. Es war die Shangdynastie, deren erste Hauptstadt Tschengtschou am Hwangho war. – In der Neuen Welt kam die Kupfer-Zinn-Legierung lediglich in den großen historischen Zivilisationen von Mexiko und Peru vor – als ein halbedles Metall. Auch *Tumbaga,* eine Legierung aus Kupfer und Gold, war dort weit verbreitet.

Mit und ohne Schrift

Der dänische Archäologe und Museumsdirektor Thomsen machte einen Unterschied zwischen der Bronze- und der Eisenzeit. Offensichtlich gibt es zwischen beiden Perioden einen beträchtlichen Unterschied vom technologischen Standpunkt aus, obwohl es keine tatsächlichen Veränderungen im allgemeinen Lebensstil, im Verhalten und in der Umweltbeeinflussung gab. Der Übergang von der Vorgeschichte zur geschichtlichen Zeit, der sich in eben dieser Periode vollzog, d. h. der Unterschied zwischen ungeschriebener und geschriebener Überlieferung, war sehr viel deutlicher ausgeprägt. Wie wir schon sahen, wurden diese Unterschiede durch unterschiedliche Situationen bestimmt. In den dichter besiedelten Gegenden überschritten die Flußzivilisationen die Schwelle zur geschichtlichen Zeit erheblich früher als anderswo; in ihnen gab es sofort eine Fülle geschriebener Texte, die uns in einigen Fällen (Ägypten ist ein typisches Beispiel) geradezu überwältigt.

Im *kontinentalen Europa* entdeckte der Mensch die *Schrift* nicht vor dem letzten vorchristlichen Jahrtausend; sie wurde von den Griechen und Phöniziern entwickelt. Aber die Sprachen dort hatten längst nichts mehr mit denjenigen zu tun, die einst in der Gegend des Fruchtbaren Halbmondes gesprochen worden waren.

Während der Bronzezeit blühten schriftlose europäische Kulturen. Unsere Rekonstruktion der verschiedenen Umweltbedingungen ist in diesem Zusammenhang formenreich und vielfältig. Während es in der Umgebung der großen Flüsse unter oft recht ähnlichen geographischen Bedingungen gewisse kulturelle Unterschiede gab, lassen sich bei den entsprechenden europäischen Kulturen manche gemeinsame Merkmale erkennen, die sich unter oft recht unterschiedlichen natürlichen Gegebenheiten entwickelten. Dies könnte natürlich mit der örtlichen Verschiebung von Völkergemeinschaften in den verschiedenen Wanderbewegungen zusammenhängen.

Nach alledem sollte es jetzt relativ einfach sein, einen schematischen Gesamtüberblick über die durch Gesellschaft und Umwelt geprägten verschiedenen kulturellen Grundsituationen zu geben, wobei wir die an anderer Stelle beschriebenen, keinesfalls freundschaftlichen Zusammenstöße als Nebeneffekt nicht ausnehmen wollen. Natürlich haben wir bei weitem nicht so reiche Belege wie im Falle der geschriebenen Texte der großen Zivilisationen, aber für eine hinreichende Vorstellung darüber, wie diese Gemeinschaften lebten, sind es genug.

Ganz obenan unter den Problemen dieser Kulturen stand das der Ernährung. Die Auswirkungen der sozialen Gegebenheiten dagegen sind kaum spürbar.

Bronzekamm (rund 1500 v. Chr.), der in einem Grab von Jütland (Dänemark) gefunden wurde.

Bronze in Europa

Männliche Bronzestatuetten aus dem Schatzfund von Galitsch an der oberen Wolga (zweite Hälfte des zweiten Jahrtausends v. Chr.; Moskauer Historisches Museum).

Der Trend zu einer seßhafteren Lebensweise in den Flußtälern, den großen wie den kleinen, war jetzt deutlicher ausgeprägt als im Chalkolithikum. Gleichwohl waren die Wanderungen das auffallendste Phänomen in dieser Periode. Die damit verbundene Verzögerung des Schrifterwerbs ist nicht notwendigerweise ein Beweis für die Hypothese, daß der nomadisierende Lebensstil nur relativ kleine und mobile Gemeinschaften zuließ; aber sie bekräftigt sie. Für diese Völker nämlich war jede Art von Kommunikation, die nicht unmittelbares Miteinandersprechen war, ein überflüssiger Luxus. Wahrscheinlich waren auch ihre Geistesgaben nicht von der Art, daß sie etwas Absolutes, in der Zeit Beständiges und Gleichbleibendes (das sie in Form einer Inschrift hätten hinterlassen können) hätten hervorbringen können.

Dennoch gab es während der gesamten Bronzezeit und noch häufiger während der Eisenzeit durchaus auch *Inschriften* und *Malereien.* Unzählige, durch die rastlose Tätigkeit der Eiskappen erodierte und ausgewaschene Felsen sind in einem nahezu gleichförmigen, für diese Periode typischen Stil „dekoriert". Vermutlich sind diese Bilder keine Bekundungen von Sympathiezauber. Unbestritten ist jedenfalls die Tatsache, daß diejenigen Tiere, die dem Menschen in seiner jeweiligen Wohngegend am wichtigsten waren, am häufigsten dargestellt sind. Aber auch der Mensch ist oft abgebildet, zusammen mit seinem Heim, seinen kleinen Obstgärten und Viehpferchen.

Ähnliche Darstellungen finden sich in den großen Bildzyklen, die man in den Bergen am Westrand der Sahara gefunden hat. Sie sind dort im *Tassili der Adjer* überall da zu finden, wo es entlang den *Wadis* geschützte Stellen gibt, z. B. unter Felsvorsprüngen (allerdings bezeugen die hier aufgefundenen Relikte ohne jeden Zweifel, daß diese Stellen erst recht spät bewohnt wurden). Man findet hier Malereien mit Darstellungen vieler Tiere und Menschen, die letzteren mit ihren Waffen beschäftigt und ausgestattet mit etwas, das als kriegerische Kopfbedekkung gedeutet werden könnte.

Diese Bilder, welche manchmal etwas vorschnell der Bronze-Eisen-Zeit zugeordnet werden, stellen das tägliche Leben dar. Tatsächlich sind sie so etwas wie die „geschriebene" Botschaft eines schriftlosen Volkes. Anstelle von Inschriften hinterließen uns diese Gemeinschaften ein offenkundigeres Zeichen ihrer selbst, ein Zeichen, bei dem es keinerlei Entzifferungsprobleme gibt. Die Menschen gingen auf die Jagd, züchteten Vieh in großem Stil und bauten verschiedene Getreidearten auf Feldern von beschränktem Umfang an. Sie bevorzugten dabei Gebiete in der Nachbarschaft von Wasser. Dies geschah offensichtlich aus praktischen Gründen, ohne daß man jedoch den „Mechanismus" der Flüsse seinen persönlichen Zwecken dienstbar gemacht hätte.

Es ist interessant zu sehen, daß in allen Felszeichnungen (sogar in räumlich weit auseinanderliegenden) jeweils bestimmte Motive wiederkehren. Dies läßt darauf schließen, daß die verschiedene Völkergemeinschaften untereinander Kontakt hatten. Besonders wichtig ist die ganze Reihe der Symbole, die die *Sonne* darstellen. Sie wird als Kreis, als Kreis mit Strahlen, als sog. „keltisches Kreuz" und als Hakenkreuz gezeigt. Daß solche Stilisierungen in weit auseinanderliegenden Gegenden selbständig und voneinander unabhängig entstanden sein könnten, ist höchst unwahrscheinlich. Logischer ist es, anzunehmen, daß die lokalen Kulturen bei der Ankunft von Nomaden, die eine neue Technologie oder neue „Motive" einführten, diese neuen Komponenten schnell aufgriffen und in ihre eigene Kultur integrierten.

Dies erklärt dann auch, wie gewisse Gegenstände aus einem Gebiet in das andere gelangten. So gab es z. B. eine große Handelsstraße für Bernstein, das versteinerte Harz, das sich vom Baltikum und einigen Stellen in Sizilien aus über ganz Europa und das westliche Mittelmeer verbreitete. Es erklärt auch, wie sich religiöse Bräuche ausbreiteten.

Durch die ganze Bronzezeit hindurch gab es zwei verschiedene Arten der *Totenbestattung.* Die eine war die *Erdbestattung,* die andere die *Verbrennung.* Beide Bräuche wurden manchmal gleichzeitig nebeneinander ausgeübt, allerdings herrschte in der Eisenzeit die Verbrennung vor. Es ist sehr gut möglich, daß die seßhaft gewordenen Bevölkerungsgruppen in verschiedenen Gegenden sogar dieses Verhalten den Toten gegenüber von den Nomaden übernommen hatten.

Bei der Verbrennung wurde gewöhnlich der ganze Leichnam von den Flammen vernichtet. Lediglich die Knochen, hinterher oft nicht mehr als eine Handvoll ausgeglühter Fragmente, wurden aufgenommen und beigesetzt. Diesen Brauch verband man früher mit der Metallurgie. Man nahm an, daß nur Menschen, die gewohnt waren, Metalle zu verhütten, und die daher aus praktischen Gründen mit dem Feuer umzugehen verstanden, ihre Toten den Flammen überliefert haben konnten, die diese sofort vernichteten. Heute findet eine solche Hypothese kaum noch Anhänger, nicht zuletzt auch deshalb, weil manche Völker, die in historischen Epochen Feueranbeter waren, gleichwohl für ihre Toten eine Erdbestattung bevorzugten.

Vielleicht sahen manche in der totalen Verbrennung des Leichnams etwas, was für die Lebenden günstig sein konnte – nicht etwa, weil diese Praktik die verwesenden Substanzen viel schneller beseitigte, sondern

Wir besitzen interessante Dokumentationen von Gemeinschaften aus der Bronze- und der Eisenzeit: Die Bevölkerungen von Val Camonica (Italien), Vallée des Merveilles (Frankreich) und Vitlycke (Schweden) haben uns einen „Bericht" über ihren Alltag hinterlassen, indem sie Darstellungen von alltäglichen Ereignissen aus einer (in früheren Zeiten durch die Erosionswirkung von Eisdecken glatt geschliffenen) Felswand heraushämmerten.

Oben: Weitere Zeugnisse aus dem Metallzeitalter in Graffito (Felszeichnungen). Links: Darstellung von Tieren zusammen mit Himmelszeichen (Oukaimeden, Hoher Atlas, Algerien). Rechts: Schiff mit Besatzung (Vitlycke, Schweden).

weil ein auf Asche reduzierter Toter als absolut und unwiderruflich tot galt und daher wohl einen geringeren Einfluß auf die Lebenden haben würde. Genauer gesagt: Einmal verbrannt, konnte der Tote nicht mehr zurückkehren und seinen Anteil an der Nahrung verlangen.

Wenn dies so war, dann müßte man die Erklärung für diesen Brauch in den spärlichen Ressourcen der Gemeinschaft suchen, die sich dauernd damit beschäftigen mußte, ob es für die lebenden Mitglieder genug zu essen gab. Dieses Problem war so brennend, daß man wahrscheinlich ganz froh war, nicht auch noch für die „anderen" sorgen zu müssen. Ein solches Verhalten paßt also eher zu der immer beschwerlichen Lebensweise der Nomadenstämme, bei denen eine regelmäßige „Vervielfachung" von Nahrungsquellen höchst unwahrscheinlich war.

Es gibt aber noch eine andere Erklärung: Die Lebenden glaubten, daß das Verbrennen und die Verwandlung des Körpers in Rauch und Staub den Toten die Reise in die unsichtbare, nicht faßbare Welt des Jenseits erleichtere. In diesem Zusammenhang ist es interessant zu sehen, daß in manchen Fällen nur der Kopf des Toten verbrannt wurde. Der Kopf war wohl derjenige Körperteil, der am geeignetesten für ein Leben jenseits des Todes zu sein schien – vielleicht weil er den Blick und das gesprochene Wort beherbergte.

Rechte Seite: In der Bronzezeit gab es oft Kulte, die mit Quellen in Verbindung standen. Die entsprechenden Kultstätten wurden oft jahrhundertelang besucht. Manchmal wurden in diesen heiligen Stätten (z. B. auf Sardinien) Vorratsbehälter für Regenwasser aufgestellt.

Der *Brunnenkult* ist ein weiteres Beispiel für einen Ritus, der in der Bronzezeit ausgeübt wurde. An vielen Orten, die von der Zeit einigermaßen unberührt blieben, wurden Spuren von Opfergaben in der unmittelbaren Nähe von Wasserquellen gefunden. Das Wasser wurde immer als unentbehrlich erkannt. Vielleicht dachten die Menschen damals, daß sie, dadurch daß sie Orte als heilig verehrten, an denen das Wasser aus der

Erde hervorsprudelte, das Wasser überreden könnten, der Gemeinschaft, die es auf diese Weise ehrte, zu helfen.

Ein dritter Kult, der in diesem Zusammenhang zu nennen wäre, hatte die Darstellung der vom Menschen hergestellten Objekte zum Gegenstand. Dieser Kult folgte den Pfaden, auf denen die Bronze sich ausbreitete. Es sieht so aus, als hätten die Handwerker voller Stolz auf ihre Geschicklichkeit regelrecht Reklame für sich machen wollen. So zeichneten sie die Dinge, die sie herstellten, auf die Felswand.

Auffällig ist auch, daß oft solche Darstellungen menschlicher Gebrauchsgegenstände mit Darstellungen der Sonne verknüpft sind. Dabei wurden Stein, Keramik und Metall benutzt (der Stein war häufig weicher Steatit), obwohl natürlich solche Darstellungen nicht denselben Zweck erfüllen konnten wie die Sache selbst. Alle Darstellungen von Äxten fallen unter diesen *Artefaktenkult.* Allerdings gibt es in einigen Fällen eine nicht leugbare Verbindung mit einem *Fruchtbarkeitskult:* Die Axt ist in ähnlicher Weise ein Symbol der Männlichkeit, wie es im Paläolithikum vermutlich der Pfeil war. In anderen Fällen scheint die Axt demselben Zweck gedient zu haben wie frühere Handabdrücke, d. h., sie zeigte Besitz an. Auf jeden Fall ist, sehen wir einmal von extrem abwegigen Deutungen ab, eines ganz klar: Der Mensch, der vielleicht zum erstenmal in der Geschichte etwas zeichnete, das er mit seinen eigenen Händen gestaltet hatte, erblickte in seiner eigenen Darstellung etwas, das er selbst geschaffen hatte und an das er fest glaubte.

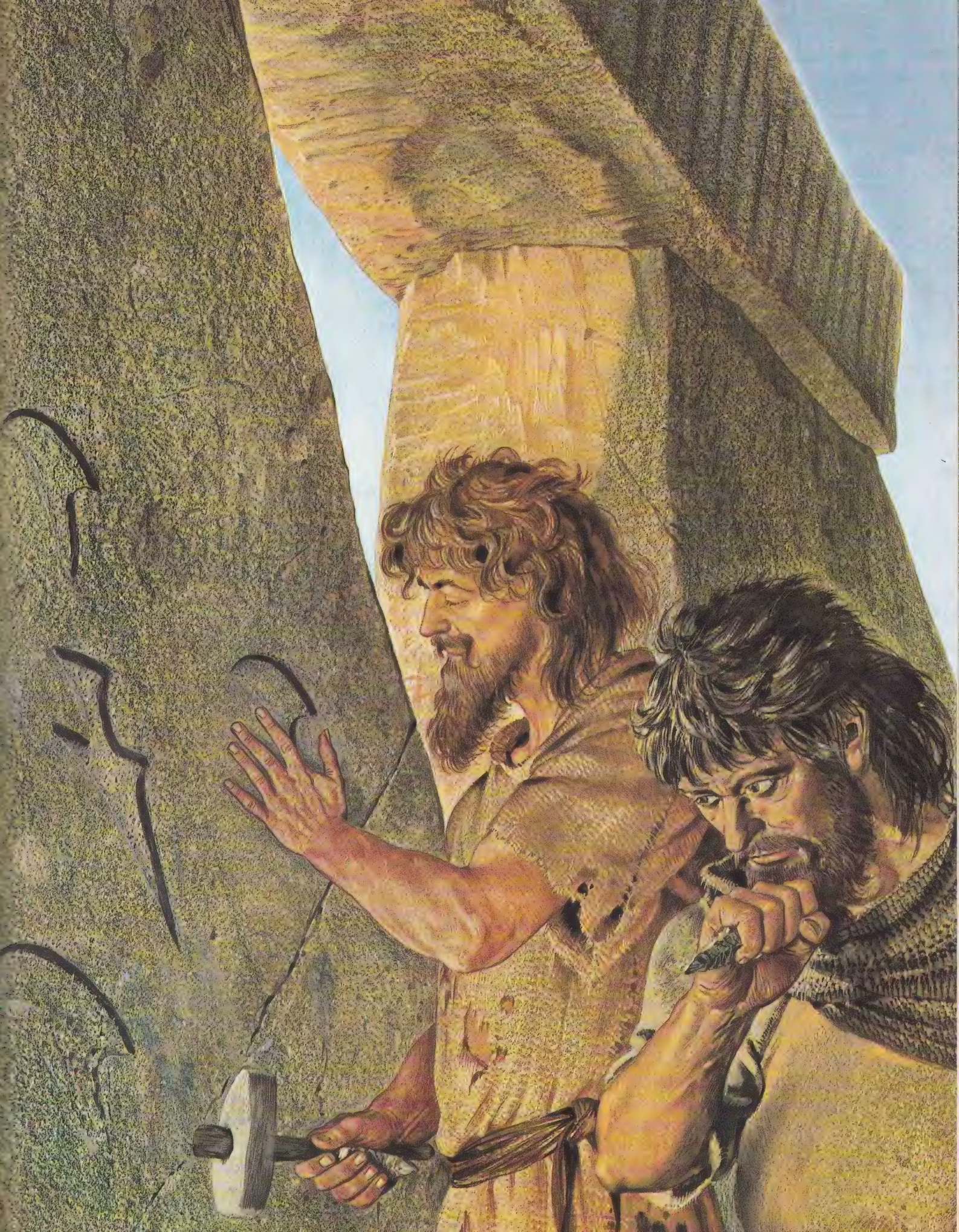
Ein reichhaltiges Arsenal

Dank der neuen Legierung war der Mensch imstande, eine große Anzahl unterschiedlicher Gegenstände herzustellen: von Pfeilspitzen und scharfen Axtblättern über Messer mit einer oder zwei Schneidkanten bis hin zu Angelhaken und Nadeln. Manche Gegenstände waren gänzlich neuartig: Haarnadeln (häufig reich verziert), Nadeln mit Haken (Fibeln, die unseren Sicherheitsnadeln glichen), Rasiermesser, Scheren und Zangen. Außerdem gab es einige „neue" Waffen: Dolche, Schwerter und Dolchstäbe, die den Hellebarden des Mittelalters ähnelten.

Sicher ist, daß die Nomadenstämme, die durch ganz Europa wanderten – von Norden nach Süden und von Osten nach Westen – und die sogar in die entlegensten Gegenden Westasiens, bis Siberien, vordrangen, keine friedlichen „Globetrotter" waren. Überall dort, wo sich die Ortsansässigen „ihrem" Gebiet (einem kleinen Lager oder einem Dorf am Flußufer) sehr verbunden fühlten und nicht besonders geneigt waren, ihre Nahrungsvorräte mit den Vorbeiziehenden zu teilen, gab es bestimmt heftige Kämpfe. Es ist auch gut möglich, daß die angriffslustigen Eindringlinge an den Orten der Auseinandersetzung eine Zeitlang seßhaft wurden und vielleicht sogar einige ihrer Stammesmitglieder zurückließen, die sich dann mit den übriggebliebenen Ureinwohnern zusammentaten. Auf diese Weise übernahmen diese auch die technischen Erfindungen, Verzierungsmuster, Gefäßformen usw., welche dann als ihr Vermächtnis die Zeiten überdauerten.

An manchen Orten, wo keine Leichenverbrennungen stattfanden, fand man die Kleidung des Toten, die man ihm als Beigabe für seine Reise ins Jenseits ins Grab gelegt hatte. Kleidungsstücke dieser Art bestanden damals aus feingewebter Schafwolle, die Schuhe waren aus Tierfellen oder aus Leder gefertigt, die verschiedenen Schmuckstücke waren häufig aus Bernstein. Manchmal wurden auch seltene Ziergegenstände aus Gold und Silber (z. B. Amulette) gefunden.

An den Säulenwänden einiger Monolithen aus der letzten Phase von Stonehenge wurden Darstellungen von Dolchen und Äxten entdeckt.



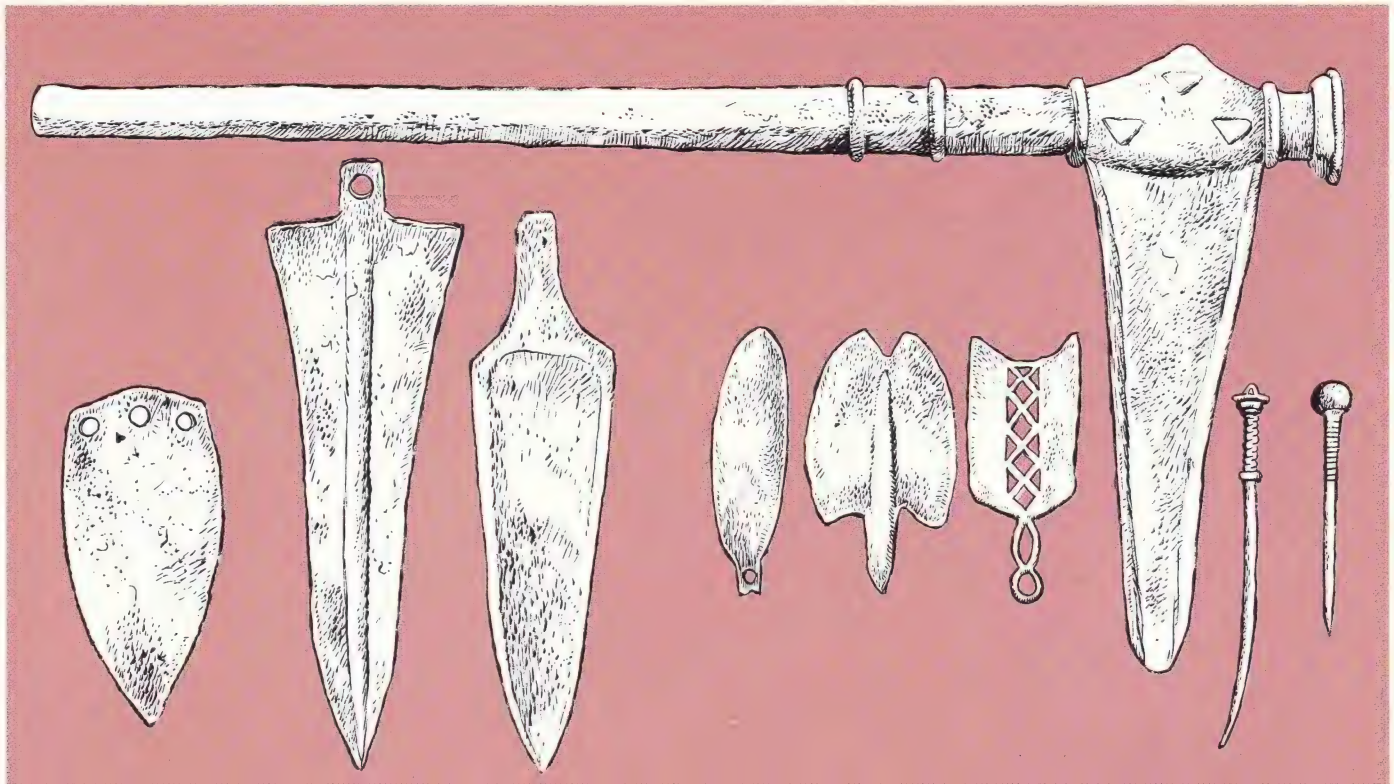
Eingriffe in die natürliche Umwelt

Nur einige wenige Getreidesorten wurden damals angebaut, die wichtigsten waren Dinkel und Gerste. Man begann jetzt auch, Obstbäume zu pflanzen; am häufigsten waren Apfel- und Pflaumenbäume sowie in Waldgegenden Rosenbüsche vertreten. Die Viehzucht lieferte dem Bauern natürliche Düngemittel, die in manchen Gegenden, wo der Boden nicht besonders fruchtbar war, sich als sehr wertvoll erwiesen.

Die *Pollenanalyse* in Torfmooren hat ganz eindeutig die „Auswirkung" der menschlichen „Kolonisation" in verschiedenen Gegenden offenbart. Wenn der Probeschnitt einigermaßen tief in die Erde hineinreicht, zeigt es sich, daß der Pollengehalt der tiefliegenden Ablagerungen (meist Schlammschichten, die von Flußüberschwemmungen hinterlassen wurden) ziemlich mager ist. Danach kommt eine Schicht, die reich an Pollen von Eichen, Linden und Kastanien ist; anderswo herrscht der Pollen von Nadelbäumen (u. a. Pinien und Tannen) vor. Das bedeutet, daß dieses Gebiet einst von einem Waldgürtel immergrüner oder laubabwerfender Bäume bedeckt war.

In der nächsten Schicht überwiegt Getreidepollen; außerdem sind auch deutliche Spuren von Waldbränden zu erkennen. Hier gibt es keinen Zweifel, daß der Mensch den Wald für seine Zwecke „entdeckte" und einen Teil des Waldbestandes durch Feuer vernichtete, um seine Nutzpflanzen auf dem so vorbereiteten Boden anbauen zu können. Nach Meinung mancher Fachleute war dies der Anfang jener Art von Ackerbau, die als *Waldbrandwirtschaft* bekannt ist. Alle Pflanzenarten, die in diesem Gebiet wuchsen, wurden verbrannt, damit ihre Asche den Boden vorübergehend anreichern konnte. Danach wurde auf diesem „verjüngten" Erdboden die bevorzugte Getreideart ausgesät. Das erste gesäte Getreide gedieh prächtig und warf eine reiche Ernte ab. In den folgenden Jahren jedoch gingen die Erträge nach und nach zurück, bis der Boden schließlich erschöpft war. Dann wurde erneut alles abgebrannt, um noch einmal eine optimale Fruchtbarkeit des Bodens zu erzielen.

Zurück zu unserer Pollenanalyse. In einer weiteren Schicht scheint der Pollenanteil von anderen Gräserarten (die gewöhnlich neben den



Einige typische Bronzegegenstände; links: Dolchklingen (Mitteleuropa); in der Mitte: Rasiermesser aus England und Norditalien (Terramarenkultur); rechts: Spangen aus der Aunjetitzer Kultur; oben: Hellebarde aus Irland. Diese Gegenstände umfassen eine Zeitspanne von mindestens tausend Jahren.

Terrakottafragment aus Alaca Hüyük.

angebauten Getreidepflanzen wuchsen) zugenommen zu haben, während der Anteil an Korn, Gerste und anderen Getreidearten zurückging. Die Felder waren verlassen worden und hatten sich vielleicht in Wiesen verwandelt, wo domestizierte Herden weideten (dieses wird durch mehrere Knochenfunde bestätigt).

In einer letzten Schicht schließlich, stellte man fest, ist der Anteil an Gräserpollen zugunsten der Pollen von Nußbäumen, Birken und anderen Bäumen reduziert. Der Wald war also wieder neu entstanden, aber nicht in seiner ursprünglichen Struktur. Alle menschlichen Spuren sind hier verschwunden, da der Stamm zu diesem Zeitpunkt endgültig weitergezogen war.

Dieser Vorgang wiederholte sich so oft und so regelmäßig, daß wir uns davon ohne weiteres ein allgemeines Bild machen können. Während in der Gegend des Fruchtbaren Halbmonds der Mensch in großem Stil Ackerbau trieb, die Vorteile, die die Flüsse ihm brachten, wahrnahm und nach und nach seßhafter wurde, bevorzugte er in Europa eher ein Nomadenleben. Und indem er seine Politik der Waldbrandwirtschaft weiter verfolgte, bewirkte er eine andauernde und fortschreitende Bodenerschöpfung.

Neue Geräte und ein höherer Energieaufwand

Während all dies im Westen geschah, breitete sich im Osten, vielleicht zusammen mit der ersten großen „Kupferwelle", eine weitere große Erfindung aus: das *Rad.* Einige Darstellungen aus Uruk zeigen das Rad bereits vor dem Jahr 3000 v. Chr. Dennoch erreichte es Syrien, das Industal und Kreta erst um etwa 2000 v. Chr., während es in Ägypten nicht

Mikrofotografie von in Keimung befindlichen Pollen.

vor 1600 v. Chr. erscheint. Was Europa betrifft, sind alle Daten ziemlich unsicher. Manche Gräber mit echten Karren oder Terrakottanachbildungen werden auf 2000 v. Chr. oder noch früher datiert (Ungarn).

Überlandfahrzeuge, die Schlitten ähnelten und vielleicht für kurze Fahrten durch schlammiges Gelände in Flußnähe brauchbar waren, aber sicherlich nicht auf trockenem oder steinigem Boden, waren schon im Mesolithikum bekannt. Zweifellos benutzte der Mensch riesige Baumstämme, von denen er die Äste entfernte, und Holzkeile, um seine Riesensteine zu befördern, die er für die Errichtung der megalithischen Denkmäler benötigte.

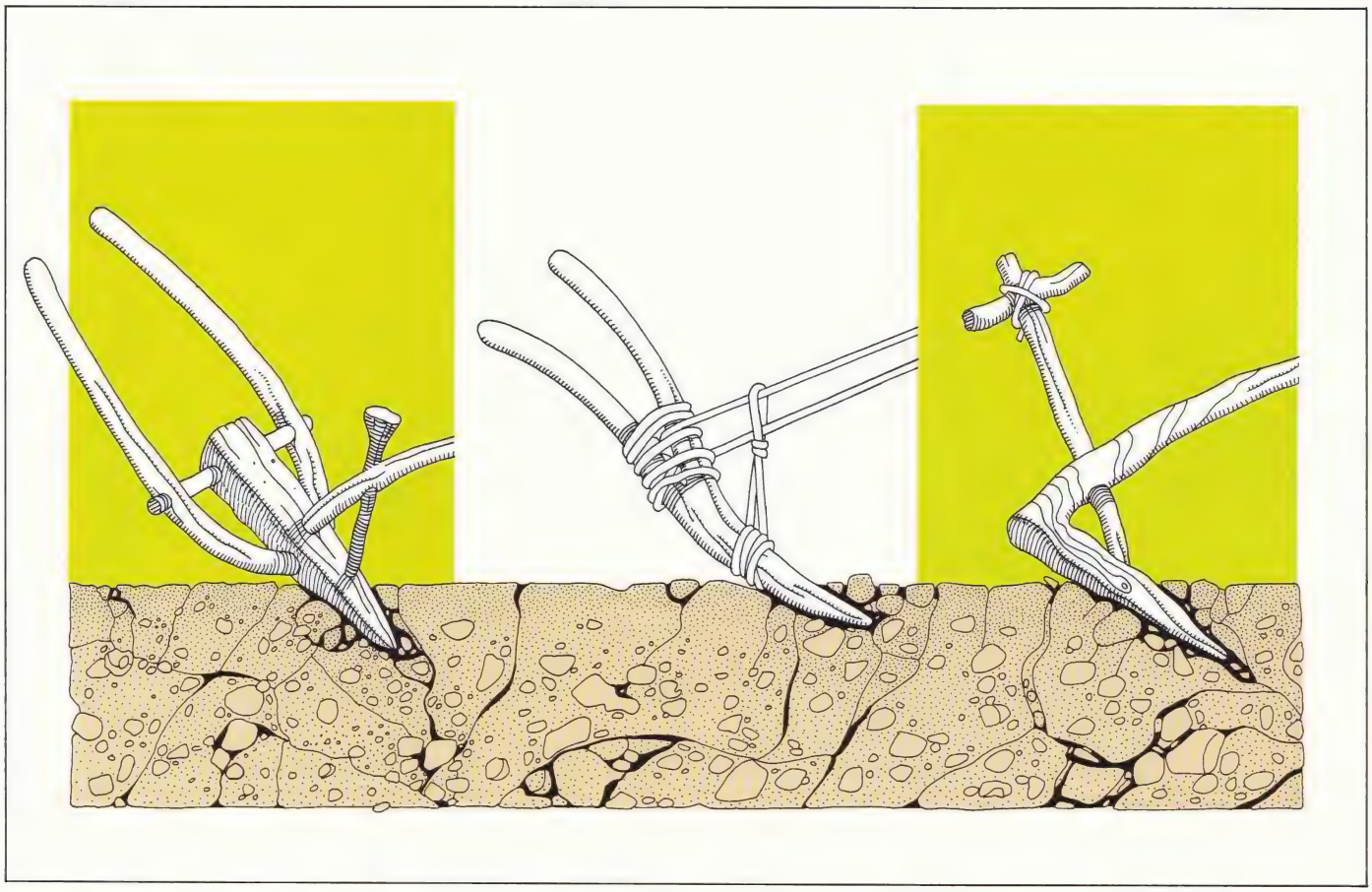
Jedenfalls muß es in Europa mindestens seit der späteren Bronzezeit *Karren* gegeben haben. Wahrscheinlich war der Mensch bis dahin lediglich auf Tiere als Beförderungsmittel angewiesen. Unter den Funden der damaligen Zeit gibt es u. a. Sättel aus Tierhäuten und geflochtenem Schilf. Solche Lasttiere waren möglicherweise Rinder oder noch wahrscheinlicher Mitglieder der Pferdefamilie, wie z. B. der Persische Halbesel, auch Onager genannt. Rinder wurden in Europa jedoch erst in der Bronzezeit gezüchtet.

Der *Pflug,* eines der wichtigsten landwirtschaftlichen Geräte, ist keine sehr „alte" Erfindung. Er wurde wahrscheinlich erstmals in Mesopotamien, etwa gleichzeitig mit dem Rad, erfunden. Es handelte sich dabei um eine Art von einem Tier gezogener Spitzhacke, die vom Menschen geführt wurde. Ein solches Werkzeug bestand ganz und gar aus Holz. Zeugnisse für eine Pflugschar aus Metall (in ganz seltenen Fällen Bronze) stammen aus einer viel späteren Zeit. Pflüge mit eisernen Pflugscharen tauchten in diesem Erdteil erst zur Zeit der geschichtlichen Kulturen Europas auf.

Durch das ganze Bronze-Eisen-Zeitalter hindurch wurden die Äcker europäischer Bevölkerungsgruppen niemals gepflügt, sondern nur gehackt. Dies erklärt zum Teil, warum es nötig war, weiterzuziehen, wenn der Boden erschöpft war, ein Zustand, der wohl sehr rasch eintrat, da nur die oberen Bodenschichten bearbeitet wurden.

Wir wollen an dieser Stelle versuchen, die früher bereits angestellten Hochrechnungen über den *täglichen Energieaufwand* der damaligen Menschen wieder aufzunehmen und für die Bronzezeit neu zu kalkulieren. Allem Anschein nach wog die Metallbearbeitung relativ wenig in der Gesamtbilanz. Sehr viel stärker kamen dagegen die Abholzung der Wälder und der Einsatz von Tieren in der Landwirtschaft und als Beförderungsmittel zum Tragen.

Insgesamt verbrauchte der Mensch in der Bronzezeit (wenn wir uns auf die frühere Tabelle beziehen) pro Kopf und Tag eine Energiemenge von rund 19000 kcal; das bedeutet im Vergleich zum täglichen Energieaufwand im Neolithikum eine beträchtliche Zunahme. Die Energie aus den Nahrungsmitteln haben sich jetzt auf knapp 5000 kcal täglich erhöht; ca. 2000 kcal davon entstammten landwirtschaftlichen Produkten, 3000 dem verzehrten Fleisch, das nicht nur durch die Jagd, sondern auch im Rahmen der Viehzucht anfiel (diese Zahlen gelten für europäische Gebiete; für den Nahen Osten sind die Verhältnisse etwas verschoben). Rund 6000 kcal der Gesamtenergiemenge wurden im Haus verbraucht (einschließlich aller häuslichen Verrichtungen wie Färben und Weben, die vorwiegend von der Familie ausgeübt wurden). Rund 7000 kcal sind dem neuen Handwerk (der Metallurgie) und der Landwirtschaft zuzuordnen. Dieser Zuwachs war dadurch bedingt, daß der Mensch Feuer benutzte, um die Wälder niederzubrennen. Die Zahl,



Verschiedene Pflugtypen, wie sie im Fruchtbaren Halbmond und im Mittelmeerraum benutzt wurden; von links nach rechts: mesopotamisch, ägyptisch, minoisch. Diese Geräte waren für tiefes Pflügen oder zum Aufwerfen von Erdschollen ungeeignet. Der relativ bröckelige Boden in den entsprechenden Gegenden verlangte jedoch keine so intensive Behandlung.

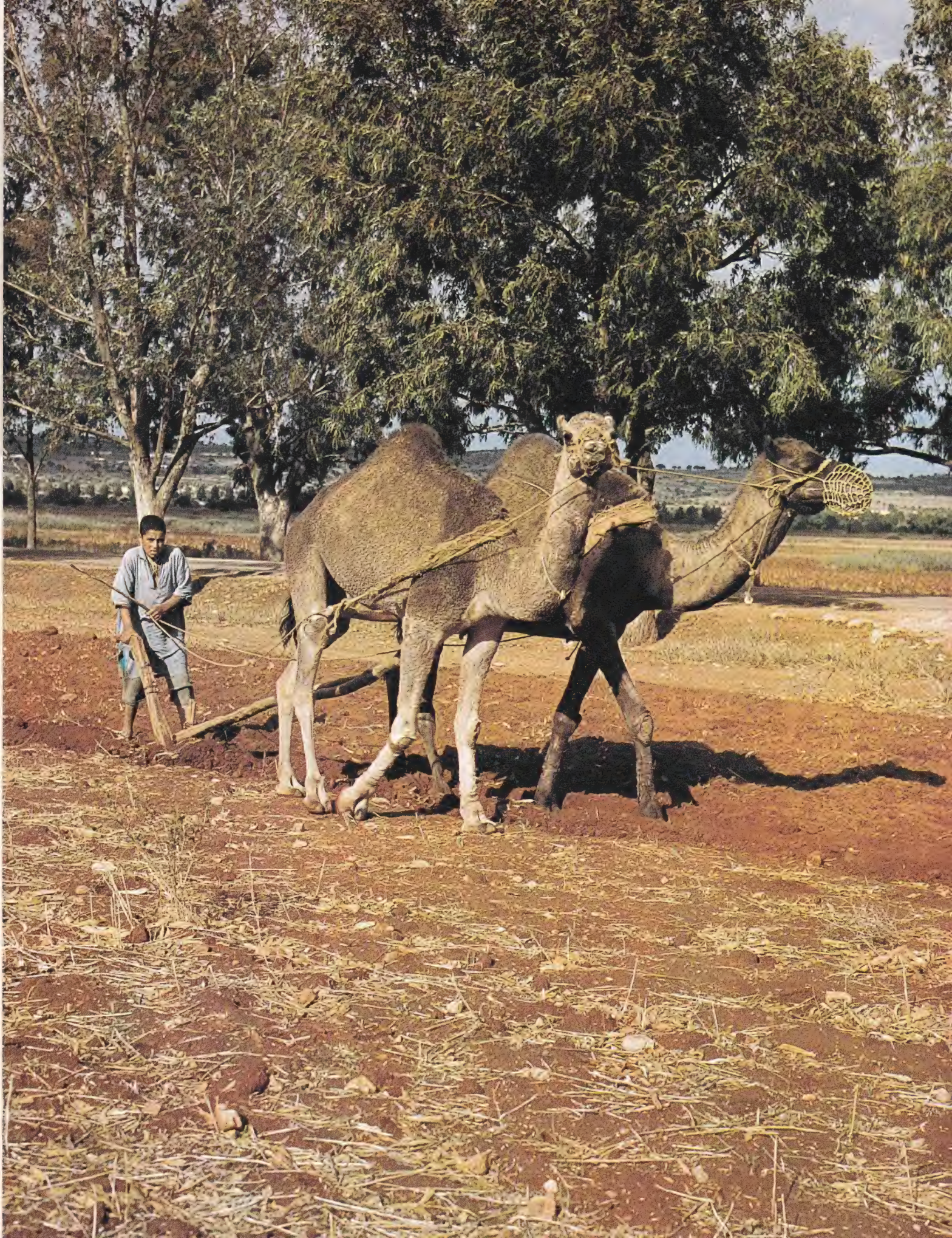
die für die Metallurgie angegeben wird, besagt wegen der geringen Bevölkerungsdichte wenig für jedes einzelne Mitglied. Im Nahen Osten handelt es sich sogar um einen noch kleineren Bruchteil, da dort das Feuer nicht dazu benutzt wurde, Wälder niederzubrennen. Dafür benötigte man dort eine größere Nahrungsmenge für die ausgedehntere Viehzucht. Rund 1000 kcal verbrauchte man täglich pro Kopf für Transport und Handel. In den Flußgebieten war diese Quote in der Bronzezeit erheblich geringer, da das Hauptbeförderungsmittel das Wasser war.

Das Meer

In vielen Fällen waren die Kulturen der Bronzezeit einfach eine Fortsetzung der chalkolithischen Kulturen, die an denselben Orten floriert hatten. Es entstanden aber auch viele neue kulturelle Zentren, manche von ihnen mit sehr ausgeprägten Besonderheiten.

Das Auftauchen der ersten großen *maritimen Zivilisation* bestätigte die Bedeutung des Handels und der Begründung einer Art von Handelsmonopol. Gemeint ist die *minoische Kultur,* die auf *Kreta* und auf vielen Inseln in der Ägäis blühte und ihren Einfluß über das ganze westliche Mittelmeer ausdehnte. Der Name dieser Kultur wurde im vorigen Jahrhundert von dem englischen Archäologen Evans Sir Arthur geprägt, der sie nach dem mythischen König Minos benannte.

Man vermutet, daß die minoische Kultur nach Kreta (wo es zuvor schon eine Vielfalt von neolithischen Kulturen gab) von Bevölkerungs-



stämmen aus Anatolien importiert wurde, die Meister der Metallurgie waren. Wir wissen jedenfalls, daß die Minoer Beziehungen zum nordwestlichen Teil desjenigen Gebiets unterhielten, das die heutige Türkei darstellt. Hier identifizierte *Schliemann* die Ruinen einer Stadt als die des sagenumwobenen *Troja,* dessen zehnjährige Belagerung in Homers Ilias beschrieben wird. Die Ruinen von Troja (der heutige Hügel *Hisarlık*) zeigen, daß diese Stadt mehrmals wiederaufgebaut wurde und daß sie während der Bronzezeit reich an kulturellen Elementen war, die denen der minoischen Kultur ähnelten. Zwischen den beiden Gebieten gab es enge Handelsverbindungen, obwohl man schwer sagen kann, welches von beiden dem anderen mehr zu verdanken hatte.

Der von Homer beschriebene Krieg um Troja fand erst viel später statt, um etwa 1200 v. Chr. herum. Wenn wir ihn mit tatsächlichen Geschehnissen verbinden wollen, dann müssen wir ihn eigentlich auf eine Epoche in der Eisenzeit datieren.

Auf Kreta erreichte die Bronzezeit einen Höhepunkt in den riesigen „Palästen" von *Knossos, Malia* und *Phaistos,* die eigentlich kleine Städte aus lauter miteinander verbundenen Steinhäusern waren. Die Werkzeuge aus Bronze waren dort zahlreich und vielfältig. Die Töpferwaren wurden mit realistischen Motiven, besonders mit Darstellungen von Meerestieren, verziert. Auf Kreta überwog die Viehzucht, wenn auch große Landstriche dem Getreideanbau vorbehalten waren und auch der Fischfang sehr erfolgreich war.

Mehrere sizilianische Kulturen *(Castellucciokultur, Thapsoskultur),* die sich aus chalkolithischen oder neolithischen Kulturen weiterentwikkelt hatten, wurden von der minoischen Kultur beeinflußt. Die Bronze scheint hier dem Ausbreitungsweg gefolgt zu sein, den früher bereits die Töpferei gegangen war.

Minoische Gefäße wurden nach Syrien und sogar nach Ägypten exportiert. Überhaupt waren die Minoer vielleicht die ersten unter den „Seevölkern", wie man sie im Reich der Pharaonen nannte. Angesichts einer so blühenden Zivilisation ist das Fehlen jeglicher Art von „zusammenschließender" Organisation (die durch Kretas zentrale Position in diesem Kulturbereich gerechtfertigt gewesen wäre) bemerkenswert. Es hat den Anschein, daß die verschiedenen Städte sich lediglich darüber einig waren, wegen ihrer gemeinsamen Interessen nicht gegeneinander zu arbeiten und keinen Krieg miteinander zu führen.

Insgesamt ist es nicht überraschend, daß sich die minoische Kultur als ziemlich anfällig erwies. Sie ähnelte darin mehr ihren polychromen Vasen als ihren Dolchen aus Bronze.

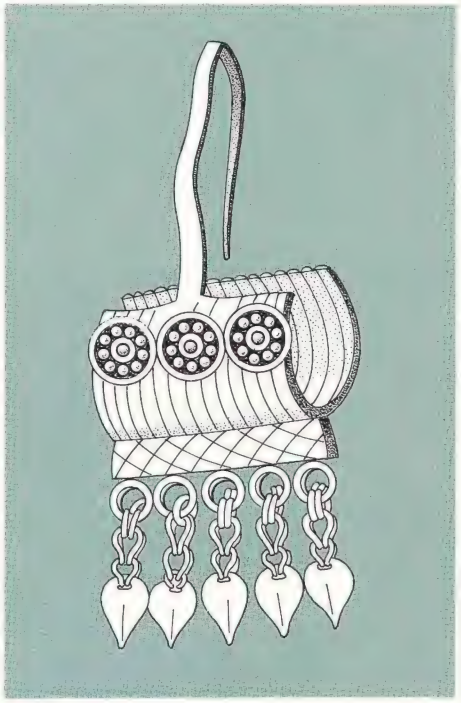
Um das Jahr 1700 v. Chr. wurde die Insel Kreta von mehreren Katastrophen heimgesucht. Eine davon war der Ausbruch des Vulkans der Insel *Santorin.* (Heute gibt diese kleine Insel in Gegenden, die lediglich ein paar Meter unter dem Meeresspiegel liegen, immer wieder neue Schätze frei und hat sogar unsere Kenntnisse um einen weiteren Stadttyp bereichert, der sich in einigem von den bekannten kretischen Palästen unterscheidet.)

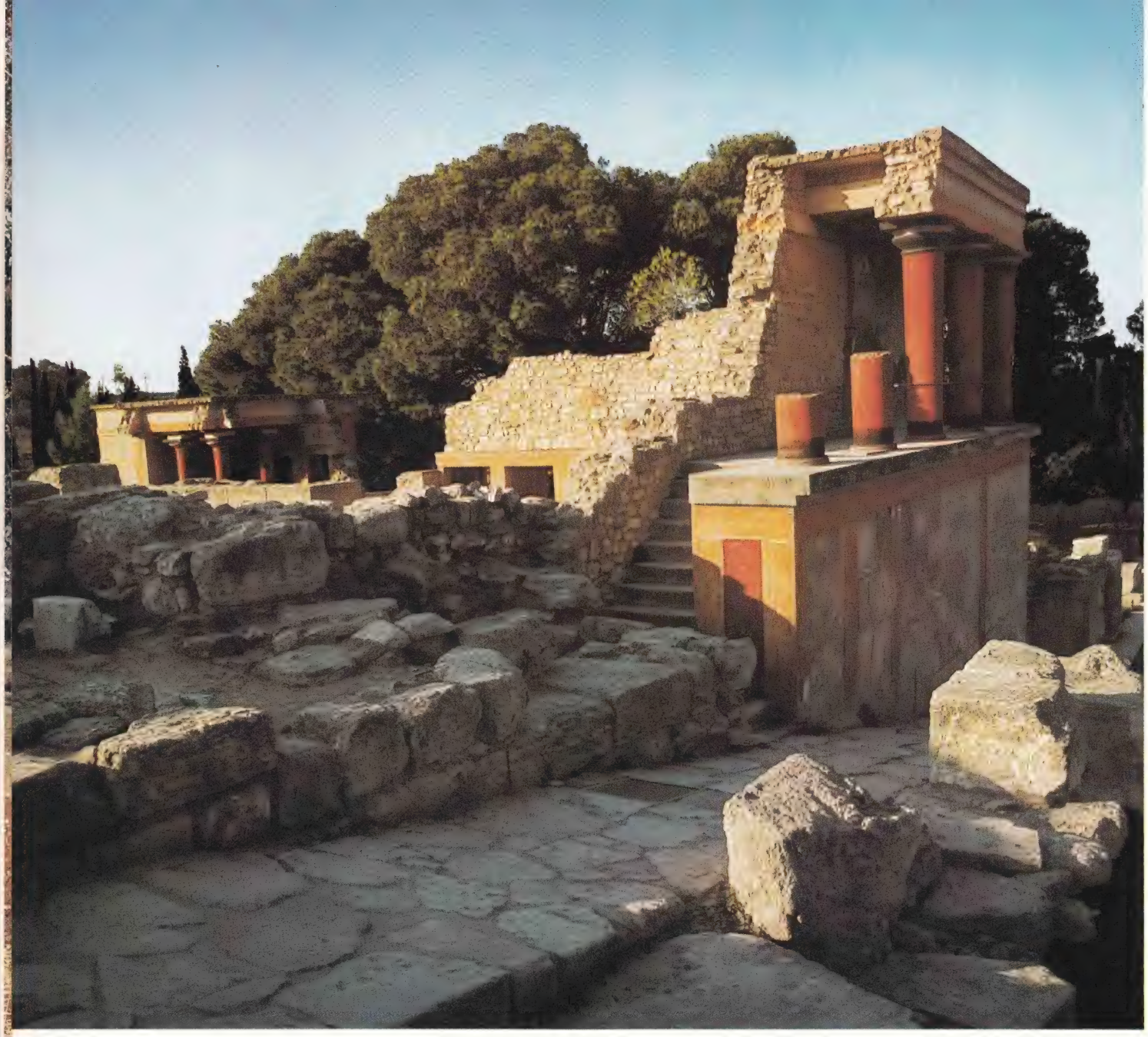
Es ist auch gut möglich, daß es auf Kreta eine Art Revolution gab, die wahrscheinlich von Bauern und Hirten aus den Bergen angeführt wurde, die zu lange der Nahrungsproduktion hatten dienen müssen und von dem breiteren Horizont des Handels ausgeschlossen waren. Jedenfalls wurden die Städte Phaistos, Knossos und Tylissos zerstört.

Es ist gut denkbar, daß andere Völker auf der Balkanhalbinsel eine solche Revolution mit Wohlwollen beobachteten. Wir wissen, daß um

Linke Seite: Die neuen Erfindungen – Rad und Pflug – trugen wesentlich dazu bei, die Anbaumethoden zu verbessern, und beeinflußten auch stark den Alltag des Menschen im Metallzeitalter.

Unten: Goldener Ohrring aus Hisarlık, Homers legendärem Troja, dessen Existenz erst durch die Ausgrabungen Schliemanns nachgewiesen wurde.





1400 v. Chr. Kreta von den *Mykenern* (nach ihrer Hauptstadt Mykene benannt) erobert wurde. *Mykene* wurde in unserer Zeit von Schliemann wiederentdeckt, der dort auch die sogenannten Atridengräber fand (die Atriden waren Könige, die nach Homer Krieg gegen Troja führten). Die Mykener hatten das Glück, andere Gebiete kolonisieren zu können, ohne das Risiko eingehen zu müssen, die Verbindung mit ihrem Mutterland zu verlieren. Sie waren außerdem voll mit der Schreibkunst vertraut. Wegen mangelnder Kenntnisse auf diesem Gebiet mußten die Minoer ihr „Seereich" aufgeben, das zu groß geworden war, als daß es ohne Schrift hätte verwaltet werden können. Tatsächlich war die *mykenische Kultur* die erste Kultur der europäischen Eisenzeit, die eine Schrift besaß und deshalb die Schwelle zum geschichtlichen Zeitalter früh überschreiten konnte. Heute gilt es als gesichert, daß die Mykener die direkten Vorfahren der Griechen waren.

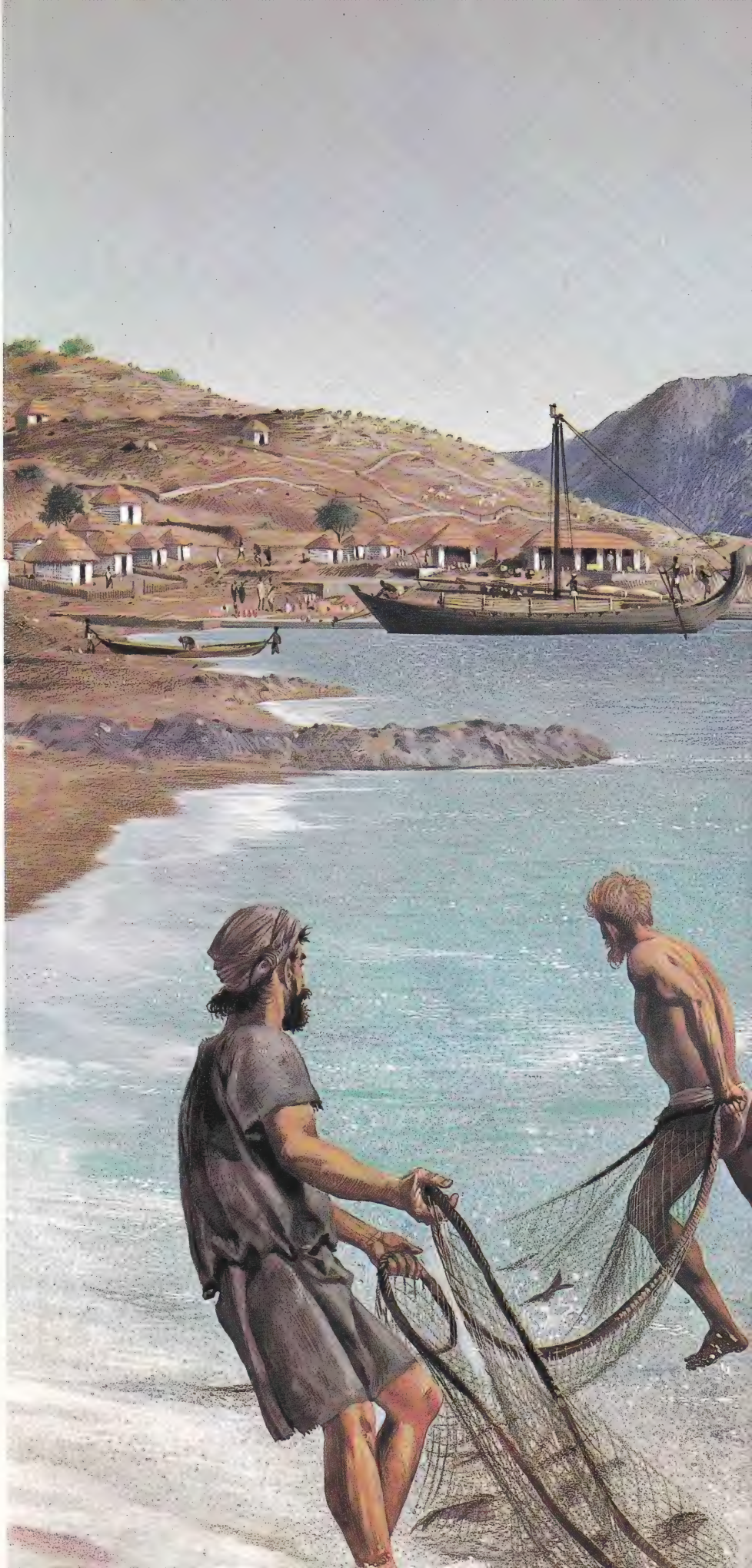
Ruinen des Palasts von Knossos (Kreta), Nordansicht.

Andere Kulturen

Abgesehen von der sehr bedeutenden maritimen Periode der minoischen Kultur, war das europäische Bronzezeitalter dadurch gekennzeichnet, daß ein Netz von festen Handelsbeziehungen geschaffen wurde, bedingt durch eine ausgedehnte Entwicklung von See- und Flußuferansiedlungen und eine wachsende Verfeinerung einzelner örtlicher Kulturen, die durch den Kontakt mit dem massiven Strom von Nomadenwanderungen gefördert wurden.

Die dritte und letzte Phase der Errichtung von *Stonehenge,* bei der dieses die Form erhielt, in der wir es heute kennen (sieht man von den Einwirkungen der dazwischenliegenden Jahrhunderte ab), liegt voll im englischen Bronzezeitalter. Für diese letzte Phase (etwa um 1600 v. Chr.) können wir feststellen, daß die Erbauer über gute astronomische Kenntnisse verfügten. Wir wissen mit Sicherheit, daß die Hauptachse von Stonehenge (auf der das große mittlere „Hufeisen" liegt) in die

Ruinen des minoischen Palasts in der Stadt Phaistos auf Kreta.



Die minoische Gesellschaft war für ihre intensive Handelstätigkeit bekannt, obwohl diese lediglich einen relativ kleinen Teil der Inselpopulation betraf. Zwischen den „wohlhabenden" Seefahrern und den armen Bauern und Fischern gab es einen beträchtlichen Unterschied; vielleicht war dies eine der Ursachen für den Aufstand, der Kreta um etwa 1700 v. Chr. erschütterte.

Um etwa 1700 v. Chr. wurde die griechische Insel Santorin von einer Anzahl von seismischen Katastrophen heimgesucht, deren Nachwirkungen noch heute erkennbar sind: Die wohlhabenden Städte entlang der Küste wurden aufgegeben. Diese Gegenden sind heute der Schauplatz geduldiger archäologischer Unterwasserarbeit.

Richtung zeigt, in der bei der Wintersonnenwende die Sonne aufgeht. Andere Aspekte könnten mit Mondbewegungen zusammenhängen (d. h. den Monaten); wahrscheinlich gibt es auch Gesichtspunkte, die sich aus den Jahreszeiten ergeben, welche für die Vermehrung des Viehs und die Aussaat besonders günstig waren.

Die geringfügigen Abweichungen, die sich bei gleichen Messungen mit heutigen Methoden herausstellen, hängen mit dem hohen Alter dieser Konstruktion zusammen: Über die lange Zeit hin haben sich die Stellen, an denen die Sonne aufgeht, durch die Verschiebung der Tagundnachtgleiche verlagert. Tatsächlich bestätigen genaue Berechnungen das Datum, das sich ursprünglich aus kulturellen Erwägungen als Schätzwert ergab.

Die Megalithen von *Malta* werden auf eben diese Zeit datiert. Eine gewisse Affinität dieser Megalithen mit dem minoischen Horizont ist unübersehbar. Hieraus aber zu schließen, daß auch die dritte Phase von Stonehenge minoisch wäre, ginge zu weit. Auf einem der Steine dieses englischen Steinmals kann man Darstellungen von Dolchen erkennen, wahrscheinlich aus Bronze. Aber zu behaupten, diese Dolche seien mykenisch, hieße der Form ungebührliche Bedeutung beimessen: Entsprechende Darstellungen von Dolchen hat man nämlich auf einer Reihe ganz anderer Felsen gefunden, z. B. bei *Val Camonica,* nordöstlich von Mailand, und im sog. „Tal der Wunder" *(Vallèe des Merveilles)* in den Meeralpen an der Grenze zwischen Italien und Frankreich.

Es ist schwierig, Verbindungen zwischen anderen Kulturen und der *Nuraghenkultur* zu finden. Unter Nuraghen versteht man die gewölbten

Links: Tonwaren der Castellucciokultur (in der Nähe von Syrakus, Sizilien). Diese Kultur stellt eine Art „Brücke" dar zwischen den späten minoischen und mykenischen Kulturen und denjenigen Kulturen, die später auf der italienischen Halbinsel florierten.

Steinbauten, die man auf Sardinien, an einigen Orten in Spanien und auf den Balearen findet. Manchmal bilden diese Bauten echte Burgen, die über 15 m hoch sind. Auf Sardinien gibt es davon über 7 000; sie wurden von ganz verschiedenen Völkern, die einander als Einwohner der Insel ablösten, bewohnt. Ohne Zweifel gehören sie alle der Bronzezeit an. Die Metallarbeiten der Nuraghenkultur, zum Teil aus Gold und Silber, sind sehr fein ausgeführt. Berühmt sind auch die runden Kleinskulpturen, welche Bogenschützen, Krieger und Tiere darstellen.

Fast alle Völker der Nuraghenkultur waren Hirtenvölker. Es hat den Anschein, daß sie eine Art Zentralgewalt besaßen. Von jeder Nuraghe

Unten: Berühmt sind die Wandfresken der minoischen Paläste, wie z. B. das hier abgebildete Fresko von Iraklion.

aus konnte man eine andere oder viele andere Nuraghen erkennen. Dies kann wohl nur den Zweck gehabt haben, Signale von einem Ort zum anderen zu übermitteln, vielleicht durch Fackeln.

Die *Elbe* scheint eine breite „Straße" dargestellt zu haben, entlang welcher sich die Kulturen der Bronzezeit ausbreiteten. Besonders die *Aunjetitzer Kultur* (nach dem Ort Únětice) scheint prächtig floriert zu haben; sie hatte dabei wohl Verbindung zu einer chalkolithischen Kultur. Typisch für die Aunjetitzer Kultur waren Zangen, Ringe für das Haar, breite, schwere Armbänder und viele Gegenstände aus Bernstein. Vielleicht gab es Kontakte zu englischen Kulturen (wie der von *Wessex,* die mit der dritten Phase von Stonehenge zusammenhängt), mit anatolischen Kulturen und später vielleicht mit der mykenischen Kultur.

Eine weitere blühende Kultur, die *Kosziderkultur,* existierte an der Donau, in der Nähe von Budapest. Sie brachte kunstvolle Äxte hervor sowie Armreifen und Amulette. Das handwerkliche Können ihrer Schmiede war anscheinend sehr geschätzt, da viele der Gegenstände, die aus Koszider stammen, im ganzen Donaugebiet gefunden wurden.

Auch Grabhügel, künstlich aufgeschüttete Erdhügel, die oft ein einfaches megalithisches Bauwerk bedecken, werden mit diesen kontinentalen europäischen Kulturen in Verbindung gebracht. Solche *Hügelgräber* waren in der Eisenzeit weit verbreitet.

Stonehenge, oft als „der schönste Steinhaufen von ganz England" bezeichnet.

Bis 1500 v. Chr. scheint die Bronzezeit ganz Nordeuropa beeinflußt zu haben, besonders jedoch die skandinavische Halbinsel, da dort keine Belege eines früheren chalkolithischen Einflusses vorhanden sind. Bronze war also das vorherrschende Metall bis zum Beginn der Eisenzeit.

In Italien gab es eine Vielzahl unterschiedlicher Bronzekulturen, obwohl sich von dort eher eine gewisse Lebensweise als irgendein bestimmter Objekttyp ausgebreitet hatte. In der Poebene existierten zahlreiche Ackerbaukulturen, besonders an jenen Flußarmen, die die Ebene mit den Seen verbinden. Eine Kultur, die ziemlich grobe Artefakte herstellte, trägt ihren Namen nach dem Fundort Polada am Gardasee *(Poladakultur).* Der Töpferlehm war hier grobkörnig und von grauer Farbe, und die Form der Gefäße war ziemlich plump (obwohl unser Urteil natürlich subjektiv ist). Es gibt auch eine Menge Holzgegenstände, die durch die in den Torfmooren, wo sie gefunden werden, herrschenden Verhältnisse gut erhalten blieben.

Die Bevölkerung in Polada lebte in auf Pfählen errichteten Dörfern *(Pfahlbauten).* Auf diese Weise nahmen sie einen Teil des vom Wasser bedeckten Landes in Besitz. Sie bemühten sich, ihre Behausungen trocken zu halten, indem sie die Hütten auf geräumigen, von Holzpfählen getragenen Plattformen errichteten. Manchmal erstreckt sich eine

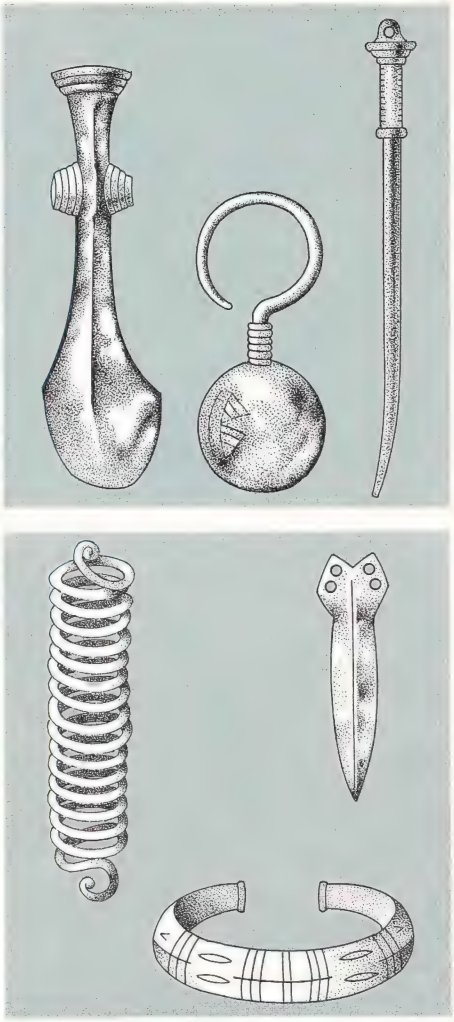
Ruinen megalithischer Monumente, die im Neolithikum und im Metallzeitalter errichtet wurden, sind in vielen Teilen Europas, von Skandinavien bis weit in den Süden, zu finden. Auf dem Foto die Ruinen des Hagar-Qim-Tempels.

Gruppe dieser Pfahlbauten über mehrere Kilometer. Trotz ihrer eindrucksvollen Größe dürften diese Dörfer ziemlich ärmlich ausgesehen haben. Man sammelte Beeren und baute Weizen an. Der Fischfang stand hoch im Kurs; man sammelte auch Süßwasserschnecken.

Wahrscheinlich waren diese Pfahlbaudörfer wegen ihrer Lage oberhalb des Wasserspiegels oder doch am Rande des Wassers sicher vor Nagetieren. Es gibt aber für ihre Lage auch weniger rosige Hypothesen. Die Seedörfer könnten z. B. zur Verteidigung gegen andere Völker errichtet worden sein, z. B. gegen Nomaden, die nur gewohnt waren, über Land zu ziehen, und sich nicht ans Wasser heranwagten.

Der ganze Apenningürtel war von der *apenninischen Kultur* überzogen, wohingegen die Landschaft um Bologna der Sitz der *Terramarenkultur* war („Terramaren" ist eine lokale Bezeichnung für diejenigen Stellen, an denen es Pfahlbaudörfer gab).

Die Gegend unterhalb der Pyrenäen in Frankreich war der Sitz einer Bronzekultur mit Ansätzen einer voraufgehenden chalkolithischen Kultur, die glockenförmige Gefäße herstellte. Wahrscheinlich hatte diese Kultur wenigstens in ihren frühesten Phasen Kontakte mit Almería, entwickelte sich dann aber selbständig weiter.



Das graue Metall

Eisenhaltige Gesteine sind über die ganze Erde verbreitet. Dennoch ist es ziemlich schwierig, aus ihnen das Metall *Eisen* in seiner reinen Form zu erhalten. Wenn diese Mineralien zum Schmelzen gebracht werden, entsteht zuerst eine schwammige, poröse Masse, die man *Luppe* nennt. Diese wird dann erneut erhitzt und im glühenden Zustand durch Hämmern so lange bearbeitet, bis die Beimischungen des Eisenerzes entfernt sind. Danach wird weiter gehämmert *(Schmiedeeisen),* oder das Material wird nochmals zum Schmelzen gebracht, und die gewünschten Gegenstände werden durch Gießen hergestellt.

Die Temperatur, die benötigt wird, um Eisen zu verhütten, ist sehr hoch (der Schmelzpunkt des Eisens liegt bei 1 500 °C); damals verwendete man Blasröhren (möglicherweise einfach ausgehöhlte Pflanzenstengel) und primitive Blasebälge, um die Flamme und damit die Hitze des Feuers zu verstärken.

Man kannte damals das Eisen schon seit geraumer Zeit und hielt es vermutlich für sehr wertvoll. Eisen ist ja der Hauptbestandteil mancher Meteoriten. Solches Eisen aus Meteoriten wurde in vorgeschichtlichen ägyptischen Gräbern in Form von Perlen gefunden, die offenbar so hoch geschätzt wurden, daß sie als wertvolle Schmuckstücke galten. Viel-

Oben rechts: Verschiedene Bronzen aus dem Mittelosten Europas; oben: Aunjetitzer Kultur, unten: Kosziderkultur (Ungarn).

Oben links: Von Flechten überzogenes Gemäuer einer sardinischen Nuraghe.

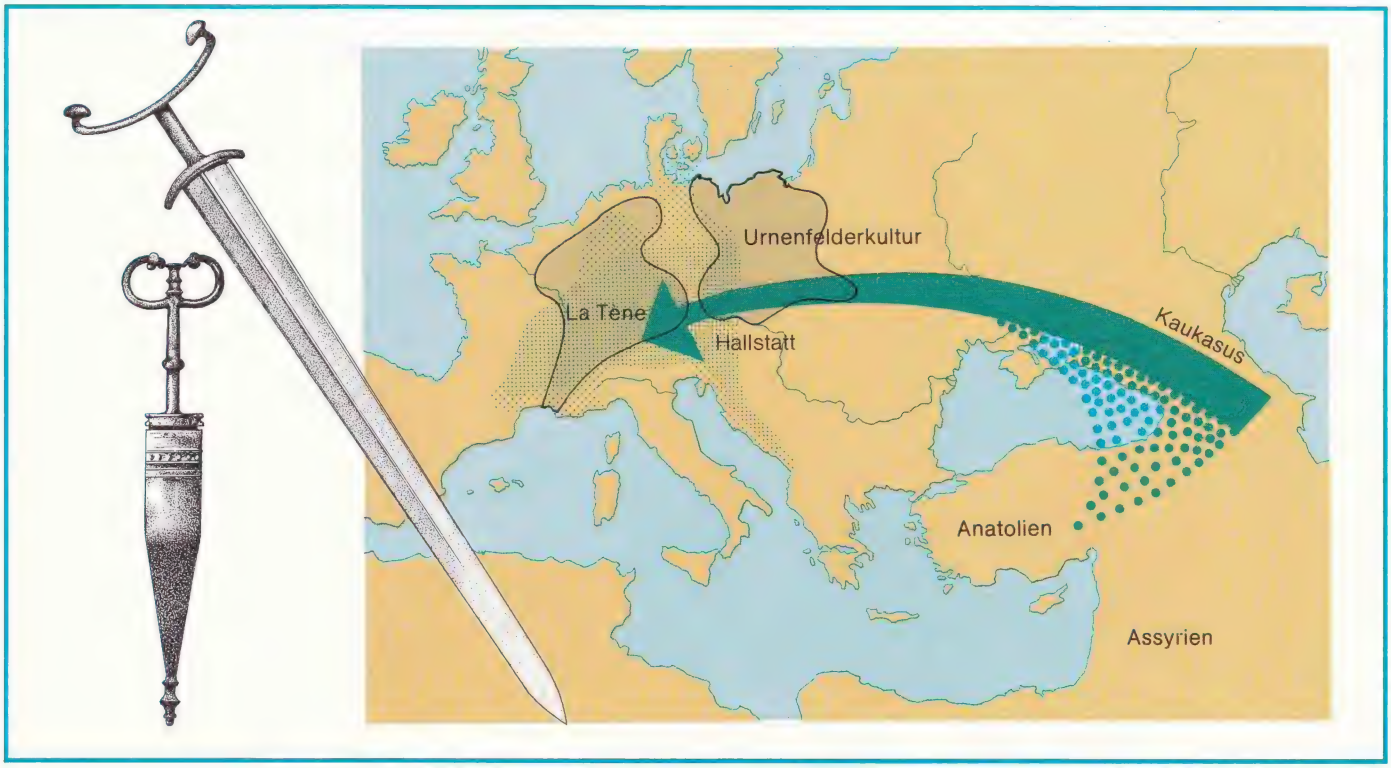
leicht ahnten die Menschen, daß dieses Eisen nicht von der Erde stammte, und betrachteten es als ein Geschenk des Himmels.

Wegen der komplizierten Bearbeitungsprozesse, die nötig waren, um Eisen zu gewinnen, fand das neue Metall erst ab 1200 v. Chr. allgemeine Aufnahme. Dies lag zum Teil auch daran, daß das einzige Volk, das damals eine gut entwickelte metallurgische Technologie besaß, die *Hethiter,* eine Art von „Embargo" über das Eisen verhängte. Vielleicht hatten sie die metallurgischen Traditionen der anatolischen Völker (in deren Gebiet sie sich um 2000 v. Chr. niedergelassen hatten) übernommen. Vielleicht brachten sie bereits aus ihrer Heimat irgendwo im Kaukasus einige Kenntnisse von der Eisenverhüttung mit. Jedenfalls gelang es ihnen, das „graue Metall" zu einer der stärksten Stützen ihrer Macht aufzubauen.

Nachdem das Hethiterreich erobert war, verbreitete sich die Kunst der Eisenbearbeitung rasch. Bald war sie in ganz Europa bekannt und gelangte sogar bis nach Mesopotamien und Ägypten. Die einzige Basis der Eisenbearbeitung war das *Schmieden.* Der direkteste Weg der Ausbreitung von Anatolien nach Europa verlief entlang der Donau; diesem Weg folgte auch das Eisen. Dank der Verbreitung der Eisenbearbeitung erfuhr das ganze Donaugebiet ein Wiederaufblühen von Kulturen, die neues Leben in die neolithischen Kulturen brachten.

In den nördlichen Gegenden Asiens (Sibirien), die von der Bronzezeit kaum berührt worden waren, gab es einen Übergang aus einem verlängerten neolithischen Zeitalter direkt in die Eisenzeit hinein. Dies geschah im 6. bis 5. Jahrhundert v. Chr. – In *China* fand das erste Schmelzen von Eisen im 5. Jahrhundert v. Chr. statt. Da allerdings die große Geschicklichkeit der chinesischen Handwerker ihren Ausdruck

Die Kulturen der Eisenzeit verbreiteten sich vom Kaukasus aus in westlicher Richtung entlang den großen europäischen Flüssen (Elbe, Donau, Rhein).



vorwiegend in der Bearbeitung von Bronze fand, benutzte man dort das neue Metall oft als Gußform für Bronzeartefakte. – In *Indien* begann der Mensch um etwa 1000 v. Chr., Eisen zu bearbeiten. Hierüber gibt es wenig Beweismaterial, aber wahrscheinlich wurde auch dort das Metall zum Schmelzen gebracht.

Das Schmelzen von Eisen im technischen Maßstab begann erst spät im 18. Jahrhundert in *Europa,* d. h. zur Zeit der industriellen Revolution.

Amerika entdeckte das Eisen erst in seiner „tragischen" Epoche, in der es von den Konquistadoren geplündert wurde.

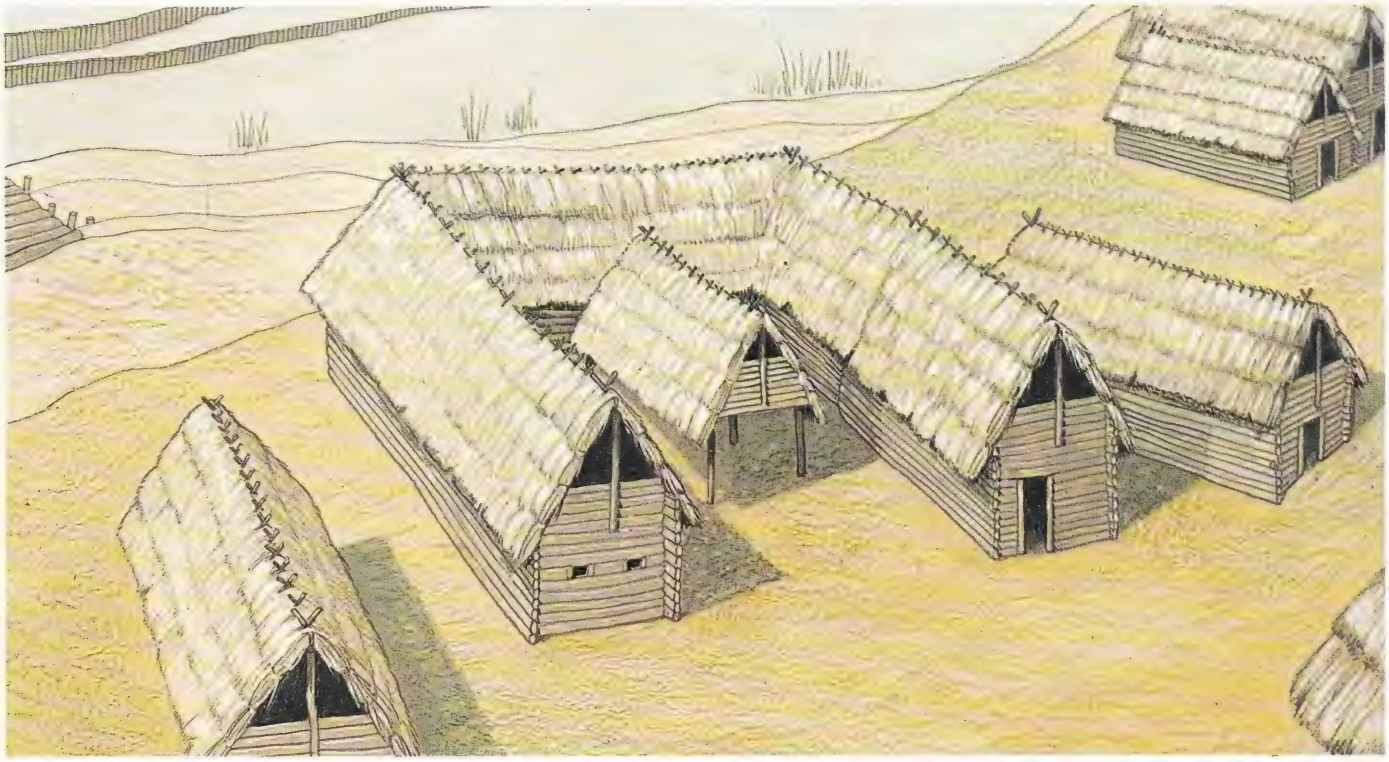
Die letzten vorgeschichtlichen Kulturen Europas

Mit der Zeit erreichte die Eisenmetallurgie eine hohe Entwicklungsstufe. Durch ein Verfahren, bei dem Eisen mit kleinen Mengen Kohlenstoff versetzt wurde, gewann das Metall eine größere Härte und Elastizität, etwa wie unser heutiger Stahl. Das glühende Metall löschte man durch ein plötzliches Eintauchen in kaltes Wasser oder Öl ab; das ergab eine härtere Oberfläche, die natürlich einige Vorteile mit sich brachte.

Eisen war das ideale Metall für Schwerter. Die Macht der Hethiter, die im ganzen Nahen Osten als unbesiegbar galten, gründete sich zweifellos auf ihre Geschicklichkeit beim Schmieden von leichten Waffen. Da sie außerdem ihre metallurgischen Kenntnisse für sich behielten, hatten sie von ihren Feinden gar nichts zu befürchten.

Die Ausbreitung des neuen Metalls in Europa ging Hand in Hand mit der zunehmenden Vorliebe für die *Leichenverbrennung.* Die Asche der Toten wurde gewöhnlich in Urnen mit Deckel beigesetzt. Häufig bringt man die *Urnenfelderkulturen* in Beziehung mit der frühen *Eisenzeit,* obwohl es schon in der Bronzezeit weite Felder gab, die Urnen mit der

Für die Urnenfelderkulturen typischer Komplex von Bauernhöfen in Buchau am Federsee (Württemberg), die durch die niedrigen Uferbefestigungen im Hintergrund geschützt wurden. Die Gebäude bestanden aus mehreren Teilen; der Mittelteil diente als Wohnung, die anderen Teile dienten als Lagerräume und Viehstall.



Zwei Weihrauchbehälter der Villanovakultur (Städtisches Museum, Bologna).

Asche eingeäscherter Leichen enthielten. Ein solcher „Friedhof" befand sich in *Kisapostag* in Ungarn, in der Nähe von Budapest.

Dieser Brauch scheint sich später in mehreren Richtungen verbreitet zu haben. Zuerst war er auf das Donaugebiet begrenzt, wo diese Kultur entstand. In der Folgezeit wurde er entlang einem Teil des Rheinlaufs weitergegeben, bis er schließlich Frankreich und Norditalien erreichte. Die letzte Welle dieser Kultur fällt mit der Konsolidierung der keltischen Stämme an der Schwelle zum geschichtlichen Zeitalter zusammen.

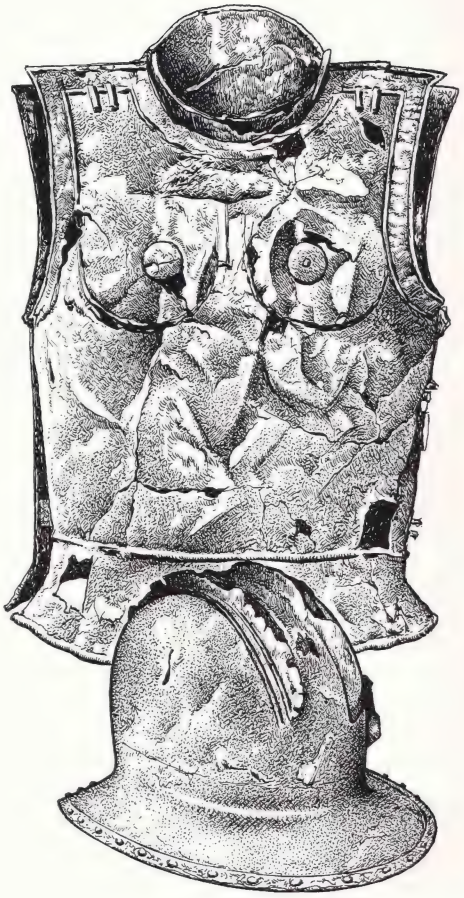
Die Urnenfelderkulturen verkörperten in der Eisenzeit das, was im Chalkolithikum die Glockenbecher dargestellt hatten: eine Art unsichtbares Geflecht aus verschiedenen Mustern, das verschiedene Bevölkerungen und Lokalitäten über große Zeitspannen hinweg verband.

Obwohl die Hauptträger dieser Kulturen zweifellos Erfahrung in der Bearbeitung von Eisen hatten, wurden bei ihnen keine Spuren von Gewaltanwendung gegen fest eingesessene Bevölkerungen gefunden, außer solchen, die sich unglücklicherweise als unvermeidbare „Nebenwirkungen" ergaben. Der neue Umgang mit den Toten scheint sich recht friedlich verbreitet zu haben. Wenn überhaupt, war der Gegenstrom, der Europa im 8. bis 7. Jahrhundert v. Chr. durchzog, erheblich aggressiver.

Bronze war damals immer noch das am meisten benutzte Metall, und die Bearbeitungsmethoden waren nicht besonders hoch entwickelt. Das Tonmaterial, das man für die alltäglichen Töpferwaren verwendete, war grobkörnig; die *Urnen* allerdings, die für Bestattungsgebräuche vorgesehen waren, waren sorgfältig gearbeitet und geschmackvoll verziert. Die Form der Urnen war unterschiedlich, wenn es anscheinend auch eine Standardform gab: ein Doppelkegel mit einer Art Schale, oft mit

einem Griff versehen, die als Deckel diente. Dieses „Muster" ist typisch für die große *Villanovakultur* (benannt nach Villanova, einem Vorort von Bologna). Leider fand man im Bereich der freigelegten riesigen *Nekropolen* (regelrechte „Totenstädte", was der Name ja auf Griechisch bedeutet) keinerlei Siedlungsrelikte von Nachbarsiedlungen. Anders ausgedrückt: Dort, wo man zufällig Siedlungen entdeckte, fand man nicht zugleich auch Nekropolen. Obwohl also diese Kulturen in relativ jungen Zeiten florierten (selten vor 1000 v. Chr.), gab es keine mit Sicherheit feststehenden Wechselbeziehungen: In den Ruinen der Siedlungen sind grobe, primitive Gegenstände, ungeschickt angefertigte Tonwaren und einige wenige Ornamente zu finden, während die Gräberfelder fein bearbeitete Gegenstände, elegant geformte Gefäße und kompliziert entworfene Ornamente bergen. Dennoch sind wir ziemlich sicher, daß diese beiden „Aspekte" oft ein und derselben Volksgruppe zuzuordnen sind.

Eine reiche Urnentypologie besaß auch die *Golaseccakultur*. Diese Kultur trägt ihren Namen nach einem Fundort am Ausgang des Lago Maggiore in Italien. Wie lebten nun die Menschen dieser Kultur? Es waren zweifellos Ackerbauern. Nach der Größe ihrer Friedhöfe zu urteilen, umfaßten ihre Gemeinschaften ziemlich viele Mitglieder. Wahrscheinlich hatten sie, was ihre Nahrung betrifft, nicht allzu viele Probleme, da sie große Gebiete mit Verstand und mit rationellen Methoden bebauten. Sie jagten mit Pfeil und Bogen und fingen Fische, die dort reichlich vorhanden waren. Sie trieben ferner eine Art Viehzucht, aber ihre „Haustiere" waren noch halbwild. Rinder scheint man dort in der Landwirtschaft kaum eingesetzt zu haben. Die Dörfer waren offenbar sehr groß und lagen vielleicht im Uferbereich des Sees auf von Pfählen getragenen Plattformen, ähnlich den Pfahlbauten der Bronzezeit. Die Häuser besaßen jedoch alle Steinfundamente. Der obere Hausteil bestand aus Holz, das Dach war aus Stroh. Ähnliche Häuser findet man in manchen Felszeichnungen dargestellt, und es besteht kein Grund anzunehmen, daß die Häuser der Menschen von Golasecca sich von diesen unterschieden.



Helm und Brustpanzer aus der Hallstattkultur.

Der Wohlstand der Menschen von Golasecca hing zum großen Teil vom Klima ab. Wir haben schon ihre fruchtbaren Felder erwähnt. Die Gegenden, in denen diese Kultur florierte, zeigen eine relativ hohe durchschnittliche Niederschlagsmenge. Sie befanden sich alle in der Nähe von Seen und hohen Bergkämmen. Dennoch gab es wohl hin und wieder Probleme mit dem Regen, wie wir aus den Felszeichnungen wissen, in denen Hinweise für einen Sonnenkult (Scheibe mit Strahlen) und einen Quellenkult (durch fließendes Wasser symbolisiert) zu finden sind.

Bis zum Ende dieser Anfangsphasen der Eisenzeit war ganz Europa „kolonisiert" und von einem engmaschigen Netz von Handels- und Kulturwegen überzogen. Viele der bestehenden Urwälder hatte man niedergebrannt, um mehr Raum für die Landwirtschaft zu gewinnen, während umherziehende Herden Gras, Rinde und Wurzeln – alles, was ihnen in den Weg kam – restlos vertilgten. Der Mensch mußte sich in dieser Gegend wohl härter mit den Widrigkeiten der Umwelt auseinandersetzen als woanders. Aber auch hier erwies er sich als stärker als die Natur und hinterließ seine Spur.

Die Notwendigkeit, umherzuziehen, die den Menschen in den großen Flußbecken weniger bedrängte, scheint keine unmittelbaren bedeutsamen Folgen gehabt zu haben. Dennoch scheinen sich hier bereits die

Ansätze zu einer gewissen Unrast unter den Völkern Europas herausgebildet zu haben. Später war das sicher ein bequemes Alibi, wenn es um die Rechtfertigung neuer „Kolonisationsabenteuer" auf Kosten anderer Gebiete ging, nachdem das eigene Territorium ackerbaulich erschöpft war.

In Mittelitalien bildeten sich in der auf die Eisenzeit folgenden Periode mehrere als *protolateinisch* bezeichnete Kulturen heraus. Manche Fachleute meinen, daß es sich bei diesen um Abkömmlinge der eneolithischen *Rinaldonekultur* handele. Man sollte aber in diesem Zusammenhang darauf hinweisen, daß viele dieser kulturellen Gruppen (im 9. oder 8. Jahrhundert v. Chr.) auf den Hügeln siedelten, auf denen später Rom errichtet werden sollte.

Salz

In der späten Eisenzeit gab es zwei große mitteleuropäische Kulturen, die von Hallstatt und La Tène. Aller Wahrscheinlichkeit nach war *Hallstatt* nicht der florierende Mittelpunkt der nach diesem Ort benannten Kultur *(Hallstattkultur).* Genau wie vor 2600 Jahren spiegelt sich heute dieses kleine Dorf in einem See unweit von Salzburg (dem Hallstätter See). Hier befindet sich eine der glänzendsten Nekropolen, die jemals ans Licht gebracht wurden. Sie erstreckt sich über eine Reihe von steilen Plateaus zwischen dem See und einer hohen Felswand. In dieser „Stadt der Toten" gibt es über 1000 „Einwohner". Etwas mehr als die Hälfte von ihnen hatten eine Erdbestattung genossen, der Rest war verbrannt worden.

Die Toten der Hallstattkultur wurden mit langen, eisernen Schwertern bestattet, deren sorgfältig bearbeitete Griffe entweder kreuzförmig gestaltet und mit symmetrischen Kurven verziert waren oder die Form einer Getreideähre besaßen. Auch fand man in den Gräbern sehr kunstvolle Nadeln aus Bronze, goldene Anhänger und Bernsteinketten.

An vielen Orten in Österreich, Bayern, der Schweiz, Ostfrankreich und Deutschland gibt es noch üppiger ausgestattete Nekropolen. Dort enthalten die Gräber Vasen aus Bronze, Krüge mit kunstvollem Deckel und getriebene Schalen.

Wie erklärt sich ein solcher Reichtum, eine so hochentwickelte Erfindungsgabe? Wir fragen uns sogar, ob all die Toten von Hallstatt zu Lebzeiten „reich" waren. Und die Antwort ist, daß dieses sehr wohl der Fall gewesen sein könnte.

Uns sind nur einige wenige Spuren von den Dörfern dieser Menschen erhalten geblieben, aber wir wissen dennoch, auf welche Weise sie ihren Handelspartnern Dienste erweisen konnten. Unsere Beweise liegen in Hallstatt selbst, wo die ganze Gegend von *Salzbergwerken* überzogen ist, von denen die meisten heute noch in Betrieb sind. In vergangenen Zeiten war es sehr schwierig, *Salz* aus dem Meer zu gewinnen, um es danach zu trocknen. Salz war darum eine sehr wertvolle Ware. Mit Salz konnte man Fleisch über längere Zeit konservieren und Getreidebrei schmackhafter machen. Heute nimmt man sogar an, daß erst mit dem Vertrieb des Salzes aus den Bergwerken des Salzkammerguts die europäische Landwirtschaft einen neuen Aufschwung erlebte.

In den Bergwerken entdeckten Archäologen Unmengen von immer noch gut erhaltenen Kleidungsstücken und sogar den Leichnam eines damaligen Bergarbeiters, der noch seine volle Ausrüstung (Stiefel, Lederjacke, Mütze usw.) und seine Werkzeuge (Hammer, eiserne Zange) bei sich trug.

Die Salzminen in den Felsen des Salzkammerguts wurden bereits in der Eisenzeit wie auch später während des gesamten Mittelalters ausgebeutet. Dieser Prozeß hatte die Zerstörung ausgedehnter Waldgebiete zur Folge.

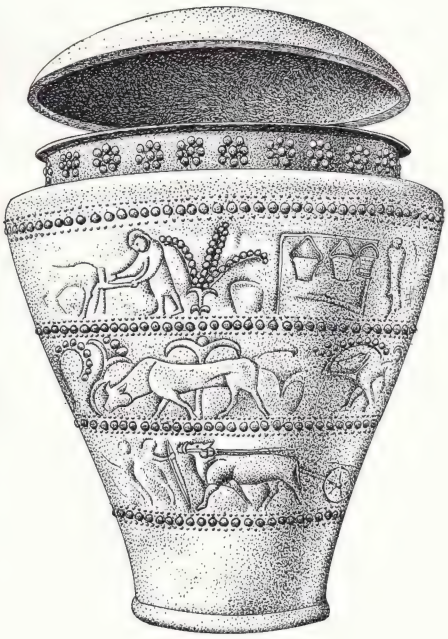
Wir können heute die Methoden rekonstruieren, mit denen man das Salz damals aus der Erde herausholte. Die Minenwände mit Spitzhacken anzugehen, war nicht sehr sinnvoll und brachte wenig. Die Hallstattmenschen bedienten sich statt dessen der Kraft des Wassers: Durch ein raffiniert erdachtes System von Kanälen beförderten sie Flußwasser in die unmittelbare Nachbarschaft des Bergwerks, überfluteten dann verschiedene Stollen und entnahmen durch Nachpumpen neuen Wassers das in der Zwischenzeit mit Salz von Bergwerkswänden gesättigte Wasser aus der Mine. Beim Trocknen des Salzes verließ man sich auf die Sonne oder auf riesige Kessel, die über Holzfeuern erhitzt wurden.

Mit dem Salz aus ihren einheimischen Salzbergwerken wurden die Menschen des Salzkammerguts immer reicher, ihre unmittelbare Umwelt dagegen erlitt beträchtliche Schäden; denn die dichten Wälder der Umgebung wurden im Lauf der Zeit teilweise in Rauch und Hitze verwandelt. Das entwaldete Land wurde zwar danach bebaut, aber als der Boden nach einigen Jahren erschöpft war, konnten die Einwohner schlecht auswandern, da sie ihre Salzminen nicht mitnehmen konnten.

Dies hatte zur Folge, daß das Salzkammergut Zeiten des Glanzes, aber auch Zeiten des Verfalls erlebte. Die Ausbreitung der Hallstattkultur in benachbarte Gegenden (über die Grenzen des „Salzlandes" hinaus) war zum Teil die Folge der Suche nach neuen Märkten, um die Weiterführung dieses Prozesses zu rechtfertigen.

Möglicherweise wanderten damals viele typische einheimische Tierarten aus den Berg- und Waldgegenden Österreichs und Bayerns aus und suchten Zuflucht in den östlichen Steppen oder in den Landstrichen entlang den Flüssen.

Bronzeurne aus Este bei Padua (Italien).



Der Reichtum, der mit diesem einzigen Produkt angehäuft wurde, das durch nichts zu ersetzen war (wir sahen ja schon, wie wichtig Eisen für die Hethiter war), mußte um jeden Preis gegen jedermann verteidigt werden. Die Bergarbeiter des Salzkammerguts, die zugleich hervorragende Kaufleute waren, wußten ihre Schätze wohl zu hüten und wurden vielleicht sogar die Eroberer neuer gewinnbringender Ländereien.

Die letzte große vorgeschichtliche europäische Kultur war die von *La Tène.* Sie blühte noch lange nach dem Anbruch des geschichtlichen Zeitalters, wird aber gleichwohl nach Wilson als eine vorgeschichtliche Kultur klassifiziert, da sie keinerlei Schriftkenntnisse besaß. Die *La-Tène-Kultur* ist nach einer Fundstelle am Ufer des Neuenburger Sees in der Schweiz benannt. Bis zu einem gewissen Ausmaß dominierten die Kelten in dieser Kultur, die neue künstlerische Motive und Techniken in ganz Europa (einschließlich der Britischen Inseln und Skandinaviens) verbreiteten.

Die La-Tène-Kultur wird auf das 5. Jahrhundert v. Chr. datiert, aber ihre Nachwirkung reichte bis in die ersten Jahrhunderte unserer Zeitrechnung. Sie hatte einige bedeutende Verbindungen mit Mittelmeervölkern. In dieser Periode wurde die Weinrebe zum ersten Mal auf den europäischen Kontinent importiert (das erste und populärste vergorene Getränk war das Bier). Die Begegnung dieser Kultur mit den keltischen Völkern fand konkreten Ausdruck in einem berühmten Grab in *Waldalgesheim* im Landkreis Mainz-Bingen. Zusammen mit einem großen Streitwagen gab es eine Vielfalt an Opfergaben, unter ihnen ein mit ineinander verflochtenen Fäden verziertes Bronzegefäß, mehrere Goldornamente und Schmuckplatten mit Relieffiguren.

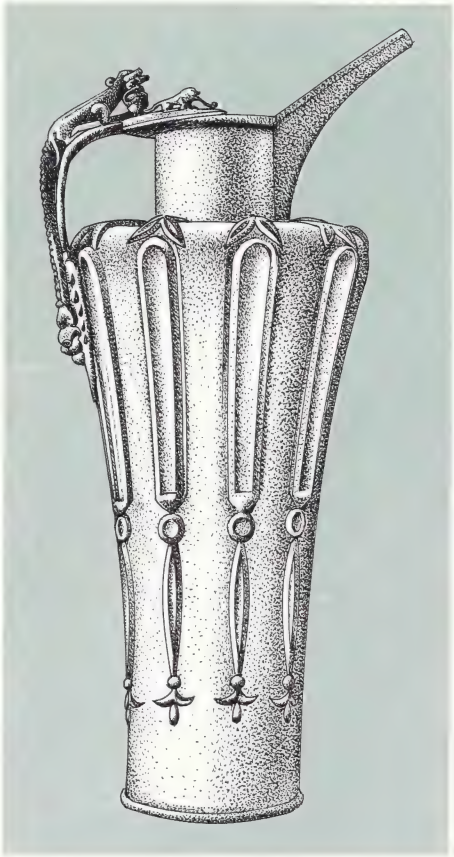
Bei allem gehörigen Respekt vor Thomsen muß man doch zugeben, daß sein System der „drei Zeitalter" eine Fülle schwacher Stellen in

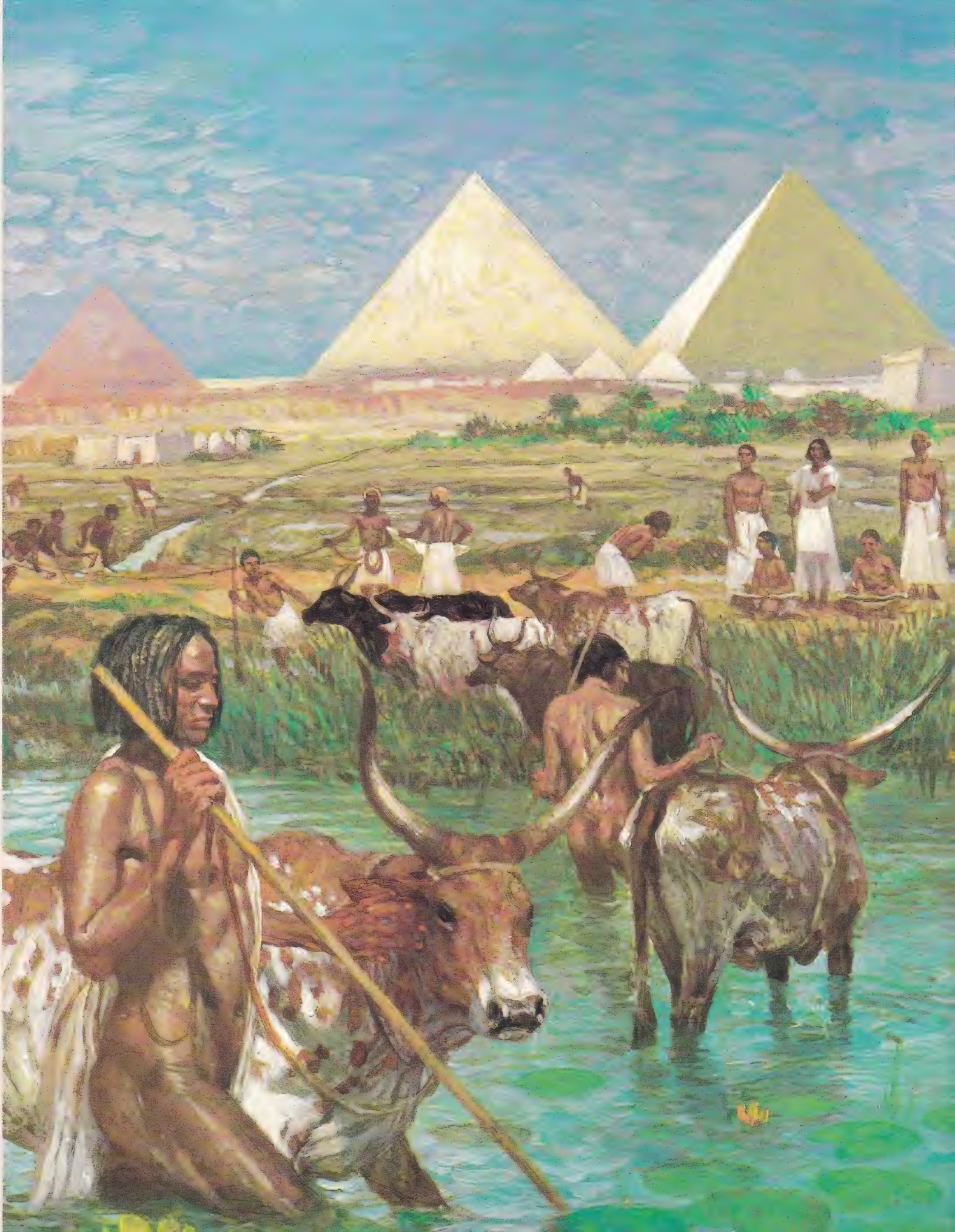
seinem letzten „Kapitel" hat. Die Aufeinanderfolge der Ereignisse in der schriftlich überlieferten Geschichte bringt offenbar zeitliche Diskrepanzen mit sich, die wir auf der Basis eines Vergleichs zwischen den verschiedenen Lebensweisen vereinfachen sollten.

Bei unserer Darstellung der Entwicklung der Bronze- und der Eisenzeit haben wir die bereits fortgeschrittenen Zivilisationen des Nahen und des Fernen Ostens vernachlässigt. Dies geschah, um innerhalb der engeren Grenzen Europas eine Kontinuität zwischen den verschiedenen Kulturen herzustellen. Außerdem ging es uns um eine Art von Abfolge in den Beziehungen zwischen einer mächtigen, wohlbewaffneten Menschheit und jenen natürlichen Zonen, in denen der Mensch noch nicht „tätig" geworden war. Bei derartig heftigen Begegnungen spielten Völkerwanderungen eine bedeutende Rolle, während solche Verschiebungen in den Gebieten, in denen sich die großen Flußzivilisationen entwickelten, weniger folgenreich waren.

Der fortgesetzte mühevolle Kampf des Menschen in Europa führte zu einer Erschöpfung der natürlichen Quellen, die sich jedoch an der Schwelle unserer Zeitrechnung noch nicht allzu drastisch auswirkte. Einige Getreidesorten (andere ähnliche wurden schon im Gebiet des Fruchtbaren Halbmondes angebaut) sowie besonders Rosenarten und Obstbäume (Äpfel, Birnen u. a.) faßten in der Landwirtschaft Fuß. Unter den domestizierten Tieren befanden sich das Hausrind (vom wilden Auerochsen abstammend), das Rentier (in den nördlichen Gebieten), das Kaninchen, die Gans und die Ente.

Die La-Tène-Kultur hat einige prächtige Gegenstände hinterlassen, wie z. B. diesen Bronzeschild mit Gold- und Silberintarsien (links) und diese Schnabelkanne (beides aus Dürrnberg bei Hallein, Österreich).





Ägypten

Zwei Länder, ein Strom

Die Geschichte des alten Ägypten als Ganzes betrachten zu wollen, wäre etwa so sinnvoll wie zu behaupten, daß Königin Elisabeth II. von England die Urururenkelin der keltischen Königin Boadicea oder Vercingetorix der Großvater von General de Gaulle sei. Über eine Zeitspanne von 3 000 Jahren gab es so viel geschichtliches Auf und Ab, daß jeder, der versuchen wollte, eine Linie der Kontinuität zwischen den verschiedenen Ereignissen und den in sie verwickelten Menschen herzustellen, sich vor lauter Verzweiflung die Haare raufen würde. Könige, Usurpatoren, kühne Generale und Königinnen, die von Skrupeln nicht sonderlich geplagt wurden, wechselten einander vor dem Hintergrund sensationeller Ereignisse, die eines Abenteuerromans würdig wären, in der Rolle des obersten Landesfürsten ab.

Doch gibt es einen stillen Hauptdarsteller, der in der ganzen Geschichte Ägyptens eine gleichbleibend bedeutsame Rolle spielt: den *Nil.* Alles, was jemals in diesem Land geschah, ist auf irgendeine Weise mit diesem Strom verbunden. Der Wohlstand und die Hungersnöte seiner Menschen, die Gier und zahlreiche Kriege: alle hängen sie mit diesem träge dahinfließenden Strom zusammen.

Ägypten ist ein Landstreifen von nicht einmal 30 km Breite und weniger als 1 000 km Länge. Seit undenklichen Zeiten stellt der Nil sowohl ein trennendes als auch ein vereinigendes Element dar, das das Leben seiner Bevölkerung bestimmt. In vorgeschichtlichen oder, wie man heute sagt, vordynastischen Zeiten stand der westliche Teil des Nildeltas unter dem Schutz einer libyschen Gottheit, deren Haar mit einer Straußenfeder geschmückt war. Der östliche Teil hingegen wurde durch eine Lanzenspitze symbolisiert, offensichtlich eine Anspielung auf die Menschen (wahrscheinlich aus dem Gebiet der Halbinsel Sinai und dahinter), die das Metall einführten.

Nicht lange danach verlor die Unterteilung in „Ost-" und „Westsektoren" des Nildeltas alle Bedeutung. Die Gegend von *Unterägypten* (d. h. das Deltagebiet) betrachtete man als das Reich eines einzelnen Gottes, *Osiris,* während das Gebiet am Oberlauf des Nils, *Oberägypten,* als das Reich dessen Schwagers (Vetters) und Rivalen *Seth* angesehen wurde.

Das Ökosystem des Nils funktionierte dank der günstigen natürlichen Bedingungen und der Wasserregulierung jahrhundertelang ohne Störungen.

Der Kampf zwischen diesen beiden Gottheiten, der angeblich mit blanken Messern ausgetragen wurde (Osiris wurde dabei besiegt und in Stücke geschnitten), ist eine eindeutige Übertragung der Spannungen, die es zwischen den beiden Bevölkerungen schon immer gegeben hatte: den Menschen Oberägyptens (ärmer, aber fleißiger) und den Deltabewohnern, die den Launen und der furchteinflößenden Wut des Flusses ausgesetzt waren. Immense Überschwemmungen des Deltas brachten Tod und Hungersnot. Jedoch wurde das Deltagebiet viel mehr von außen beeinflußt als das Gebiet am oberen Nil. Beziehungen zu Mesopotamien und Handel mit anderen Völkern der Mittelmeerküsten (z. B. Syrien und Ugarit) brachten den Ägyptern des Nordens ununterbrochen materielle und kulturelle Reichtümer.

Im Süden arbeitete die Bevölkerung hart daran, ein komplexes System von Kanälen zu vervollständigen, das es ihnen ermöglichen sollte, die Überschwemmungen des Nils zu nutzen, ohne zugleich den damit verbundenen Schrecknissen ausgesetzt zu sein.

In beiden Gebieten sprach man dieselbe Sprache, und die ethnischen Gruppen hatten eine gemeinsame Herkunft. Die Laute, die sie von sich gaben, waren allen Ägyptern verständlich und wurden durch eine Schrift ausgedrückt, die anfangs ideographisch war (also Zeichen für ganze Begriffe enthielt), mit der Zeit jedoch konsonantisch wurde.

Wir sollten uns an dieser Stelle vor Augen halten, daß schon in vordynastischer Zeit die Art und Weise, in der man die Arbeit einteilte,

strenge soziale Unterschiede zwischen dem Bauern, dem Priester, dem Handwerker und dem Kaufmann bewirkte. Es entstand ein System von *Kasten.* Der erste *Pharao* nun kam auf den brillanten Gedanken, alle sichtbaren Unterschiede zwischen den einzelnen Kasten gegenstandslos zu machen. Er führte das Konzept ein, daß wenigstens vor ihm, der erhaben und von dem Rest der Bevölkerung abgesondert war wie der höchste Berggipfel, alle anderen Menschen gleich sein sollten. Er war der *Gottkönig,* der über alles und jeden, wie er es in seinem undurchschaubaren göttlichen Willen für richtig hielt, herrschte. Seine erste Großtat war es, die „beiden Länder", d. h. Ober- und Unterägypten, zu einem einzigen Reich zu vereinigen.

Die Entstehung Ägyptens als politische Macht fällt mit der Selbsterhebung des Königs zur Gottheit und mit seiner Vereinigung das Landes zusammen. Die Folgen der Vereinigung waren vielfältig: Zunächst einmal ist festzustellen, daß nunmehr die recht sinnlose „Energieverschwendung" kriegerischer Konflikte unter „Nachbarn" aufhörte. Außerdem konnte nur auf diese Weise der Flußmechanismus wirkungsvoll funktionsfähig gehalten werden. Rechtzeitige Wasserregulierungen am Flußoberlauf konnten die Verwüstung durch die Überschwemmungen am Unterlauf verhindern. Es war sogar eine echte Kontrolle der Flußbewegung insgesamt möglich. Natürlich konnten unvorhergesehene Umstände nicht kalkuliert werden. Der Nil ist immerhin 6 000 km lang, und alles, was sich im Bereich des heutigen Sudans abspielte, war

Linke Seite, oben: Historische Stätten im alten Ägypten.

Unten: Der Nil hat auch heute noch nichts von seiner Faszination verloren.

damals noch in mystisches Dunkel gehüllt. Allerdings war die Regulierung von nahezu 2000 km Flußlauf mehr als zureichend, diesen gewaltigen Strom zu bändigen.

Im Gebiet unmittelbar südlich des Nildeltas, dem Gebiet von *Al Faijum,* wurde ein eindrucksvolles System von *Kanälen* geschaffen, so daß die vielen natürlichen, das ganze Jahr hindurch bestehenden Flußbecken als „Lungen" des Gewässers funktionieren konnten. Der fruchtbare Schlick konnte so auf weite Landstriche verteilt werden, wodurch sich der fruchtbare Landgürtel, der „schwarze" Streifen, immer weiter ausdehnte.

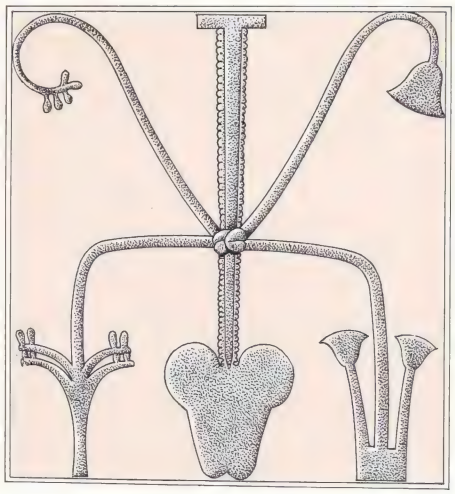
Nur ein König, und doch mehr als ein König

Von dem Augenblick an, als die beiden Länder zu einem Einheitsstaat zusammengefaßt waren, trug der König eine Doppelkrone, das sog. *Pschent:* ein roter Kopfputz, mit der Straußenfeder der Deltagottheit verziert, verbunden mit der weißen Mitra Oberägyptens.

Während jener frühen Periode legte Ägypten den Grundstein für einen Wohlstand, der, obwohl von Zeit zu Zeit durch Invasionen und innere Konflikte bedroht, mehrere Jahrhunderte andauern sollte.

Die Geschichte des alten Ägypten unterteilt man in Zeiträume, die als *Dynastien* bezeichnet werden. Dieses Einteilungsprinzip wurde von dem ägyptischen Geschichtsschreiber *Manetho* (3. Jahrhundert v. Chr.) eingeführt. Unser Überblick muß notwendigerweise ziemlich summarisch sein. Dies verstärkt eine Tendenz, die Darstellungen der ägyptischen Geschichte leicht haben: Berechnungen nach Dynastien ma-

Unten links: Die Verbindung von Binse und Papyrus symbolisiert den Zusammenschluß von Ober- und Unterägypten.



Rechts: Die Pharaonenkrone auf dem Kopfe Sesostris III. (unten) besteht aus zwei Elementen: der weißen Mitra des Herrschers von Oberägypten und dem gefiederten Helm des Herrschers von Unterägypten (Nildelta), getrennt dargestellt auf den zwei Seiten eines Täfelchens mit dem Bildnis des Narmer (oben).

Die berühmte Stufenpyramide, erbaut von dem König Djoser (3. Dynastie).

chen sie möglicherweise verwirrender, als sie tatsächlich ist. Wenn wir also hier etwas über die Höhepunkte der ägyptischen Geschichte erfahren, sollten wir uns an unsere Bezugsdaten halten. Das wird uns das „legendäre Altertum" auf einer sichereren Basis verstehen lassen.

Ägypten wurde, wie bereits angedeutet, um etwa 3 000 v. Chr. unter dem sagenhaften König *Menes* vereinigt. Diesem König waren andere mehr oder weniger legendäre „Figuren" voraufgegangen. Einen davon, einen gewissen *Narmer,* kennen wir durch sein interessantes Porträt auf einer Steintafel: Der König trägt dort eine rote, mit einer Straußenfeder geschmückte Krone, während eine andere Darstellung ihn mit der weißen Mitra zeigt. Ganz offensichtlich wird hiermit die Vereinigung beider Länder symbolisch angedeutet.

Die frühen ägyptischen Könige hatten *This (Thinis)* zur Hauptstadt auserwählt. Daher bezeichnet man die beiden ersten Dynastien auch als die *thinitischen Dynastien.* Wegen ihres zeitlichen Abstandes von uns neigen wir dazu, diese Periode als legendär zu betrachten. Die

Oben: Entenjagd, Grab des Nacht (Theben), 18. Dynastie.

darauffolgende Dynastie, die dritte, die zwischen 2800 bis 2720 v. Chr. datiert wird, ist leichter nachzuweisen, da wir aus dieser Zeit bereits Inschriften und vollständige Texte besitzen.

Obwohl es keineswegs mythisch ist, kommt uns einiges doch sehr „seltsam" vor: Der ägyptische König stand tatsächlich „über allen anderen"; nichts konnte ihn erreichen. Er war ein *Gott.* Hier zeigt sich ein weiteres Schlüsselelement zu dem vollkommenen, aber primitiven Mechanismus Altägyptens: Die Überlegenheit des Königs war derart groß, daß sie durch etwas, das zugleich furchterweckend und unsichtbar war, getragen werden mußte. Da er göttlich war, konnte nur der *Gottkönig* den Tod überwinden. Alle „anderen" waren nur Teil eines großen Mechanismus und erdgebunden; sie konnten nicht auf ein „Leben im Jenseits" hoffen.

Um seine exklusive Position zu bestätigen, ließ der König einen monumentalen Bau für sich errichten (eine übersteigerte Form der *Mastaba,* eines Graboberbaus, den man schon in vordynastischer Zeit kannte und der für den Herrscher und die Oberschicht vorgesehen war; die Mastaba ähnelte in ihrer äußeren Form einem tatsächlichen Wohnsitz). Schließlich ließ der König über eine Periode von mehreren Jahren und unter Einsatz von Tausenden von schwer arbeitenden Menschen die erste *Pyramide* erbauen.

Djoser war der erste Pharao, dem man eine Pyramide errichtete. Da diese Pyramide aus Stein war, überdauerte sie die Jahrtausende. Sie wird wegen ihrer Form *Stufenpyramide* genannt und steht bei *Sakkara,* von einem riesigen Terrassenbau umgeben; dieser Bau war Tempel, in dem man den Gottkönig verehrte, und Denkmal zugleich. Für uns ist die

Rechte Seite: Mumie des Pharaos Thutmosis III., 18. Dynastie (Ägyptisches Museum, Kairo).

Pyramide von Sakkara ein technisches Meisterwerk und ein Steinsymbol von unbestrittener Macht, die zu erhaben war, um despotisch zu sein, einer Macht, die durch die Vereinigung des Landes (zu dieser Zeit war die Vereinigung längst eine vollzogene Tatsache; wir befinden uns jetzt nicht mehr im Bereich der Sagen und Legenden) den Weg gefunden hatte, Ägypten zum Wohlstand zu führen.

Das Alte Reich etabliert sich

Djosers Residenzstadt war *Memphis,* eine Stadt, die viele Höhen und Tiefen erlebte und von deren ursprünglicher Architektur heute leider kaum noch etwas zu sehen ist. Dennoch bezeugt die Pyramide des großen Königs, daß hier statt Ziegelsteinen *Natursteinblöcke* als Bauelement gewählt worden waren.

Fortan sollte es einen ununterbrochenen „Strom" von Steinblöcken geben, die entlang den großen Karawanenstraßen auf Flößen, Rollen oder Schlitten befördert wurden. Riesige Steinbrocken aus der Gegend am Obernil wurden über große Entfernungen herangeschleppt, um die Macht des Pharaos zu bezeugen. Die gewaltigen Steinmengen, die während der gesamten Geschichte Ägyptens verbaut wurden, haben sicher das Gesicht ganzer Landstriche verwandelt, die ursprünglich lediglich als Steinbrüche vorgesehen waren. Dennoch half möglicherweise auch dieser Abbau der Felswände, den Lauf des Nils unter Kontrolle zu halten; die Steinbrüche befanden sich nämlich niemals weit vom Flußufer entfernt, was für die Beförderung der gewaltigen Steinblöcke vorteilhaft war.

Nach Djoser gab es drei weitere Pharaonen, die monumentale Bauwerke errichten ließen, um ihren Namen zu verewigen: Cheops (Chufu), Chephren (Chefren, Chafre) und Mykerinos (Menkaure), alle der 4. Dynastie angehörend. Die Architekten der drei berühmten, nach diesen Königen benannten Pyramiden von Gise, der *Cheopspyramide,* der *Chephrenpyramide* und der *Mykerinospyramide,* verbesserten das „Djosermodell": Die neuen Pyramiden besaßen eine glatte, leuchtende Oberfläche und glänzten in der Sonne; jeder sprach von ihnen einfach als „dem Licht".

Es ist einmal gesagt worden, daß diese gigantischen Staatsbauten auch dazu gedient hätten, die ungeheuren Reserven an Arbeitskräften zu beschäftigen, die in den Jahreszeiten, in denen der Druck der landwirtschaftlichen Arbeit nachließ, zur Verfügung standen; diese Hypothese ist jedoch unzuverlässig. In dem perfekten Mechanismus, der bereits seit fast fünfhundert Jahren reibungslos funktioniert hatte, gab es einfach keine „Ruhezeiten". Wenn man nicht gerade auf den Feldern arbeitete, mußte man sich um die Viehzucht kümmern. Manchmal gingen die Bauern in dem nilnahen Sumpfland auf die Jagd oder betrieben eine bescheidene Form von Tauschhandel für ihre persönlichen Bedürfnisse.

Die Pyramiden waren also im Grunde „lediglich" der konkrete Ausdruck eines Kults, des Kults eines produktiven, geeinten Landes und seines göttlichen Repräsentanten.

Die Riten und Bräuche dieser Periode waren zahlreich und vielfältig: Wir haben bereits von den magischen Formeln gehört, die als Allzweckmittel allgemein in Gebrauch waren. Vielleicht besaßen die Priester nicht allzuviel Einfluß über den einzelnen, aber über allen und jedem, sich selbst sein eigener Priester, stand der *Gottkönig.* Der einzige offizielle Kult wurde vom Pharao verwaltet, mit komplexen Zeremonien als

Huldigung an die Gottheit, die er verkörperte und aus der er hervorgegangen war.

Die typische Beziehung zu dem Konkreten und Greifbaren, die Ägypten eigen ist, zeigt sich besonders deutlich in dem Bedürfnis des Pharaos, gewaltige Grabmäler erbauen zu lassen, die seinen Namen verewigen sollten. Es gab allerdings noch einen anderen Grund für diese Bauwerke: Der Pharao mußte von etwas Unveränderlichem, Unvergänglichem umgeben sein; auch im Tod mußte sein Körper vor jeder Verwesung geschützt werden. Der Brauch der *Mumifizierung* entwickelte sich kurz nach der Vereinigung der „beiden Länder" zu einem Reich. Alle anderen Sterblichen wurden nach ihrem Tod einfach in den Erdboden gelegt, wie es zu vordynastischen Zeiten üblich war. Der Gottkönig jedoch wurde nach seinem Tode als *Mumie* hergerichtet. Daß solche Mumien über die Jahrtausende hinweg intakt geblieben sind, liegt im Grunde an den außerordentlichen klimatischen Bedingungen Ägyptens. Dank dem trockenen Klima trockneten die Toten zunehmend aus, ohne sich zu zersetzen. Nur in den seltenen Fällen, in denen die Salben und Mixturen, die bei der Zubereitung der Mumie eine Rolle spielten, besondere Wirkungen zeitigten, wurde der Leichnam zu Brei.

Mit dem Herrichten der Mumien entstand eine weitere Kategorie von Pflichten, mit deren Ausübung spezialisierte Handwerker betraut wur-

Die drei großen Pyramiden von Gise: Cheops-, Chephren- und Mykerinospyramide.

den. Es entwickelte sich, wenn man so will, eine weitere Bevölkerungsklasse (die nicht etwa zur Priesterkaste gehörte).

Im Zusammenhang mit solchen Verrichtungen, die sich auf den Tod erstrecken, sollten wir uns die Frage stellen, welche Einstellung denn die Ägypter zum Leben hatten. Aus den schriftlichen Überlieferungen, die wir besitzen, dürfen wir wohl auf eine heitere und gelassene Lebensart der alten Ägypter schließen. Wenn vor dem Gottkönig alle Menschen gleich waren, warum sollte es dann überhaupt Streit zwischen dem einen und dem anderen geben? Warum sich um Tod und Leben sorgen, wenn der „große Fluß" genug zu essen und zu trinken garantierte und der Tod keine dunklen Pforten öffnete?

Die *Verwaltung* der verschiedenen *Gaue* des Landes wurde zuverlässigen Beamten anvertraut *(Gaufürsten),* die (in einer etwas kafkaesken Bürokratie) dem Pharao über alles Rechenschaft ablegen mußten. Seine Anweisungen, gerade weil sie unveränderlich waren, wurden in Steintafeln an den Gebäudefassaden für alle Ewigkeit eingemeißelt. Tatsächlich arbeitete jeder im Grunde an einer unendlich „langen Leine"; demgemäß gab jeder sein Bestes.

Sehr weit fortgeschritten war im Alten Reich die *Beobachtung der Himmelsphänomene.* Nicht nur sagten ägyptische Astronomen die Erscheinung von *Kometen* oder *Sonnenfinsternissen,* die man für

Der ägyptische Lichtgott Horus fährt (als Verkörperung der Sonne) in seinem Boot jeden Tag von Osten nach Westen; nachts legt er dann einen langen Weg zurück (der mit dem Sterben in Verbindung gebracht wird), dem jeweils eine neue Morgenröte folgt (Symbol der Auferstehung).

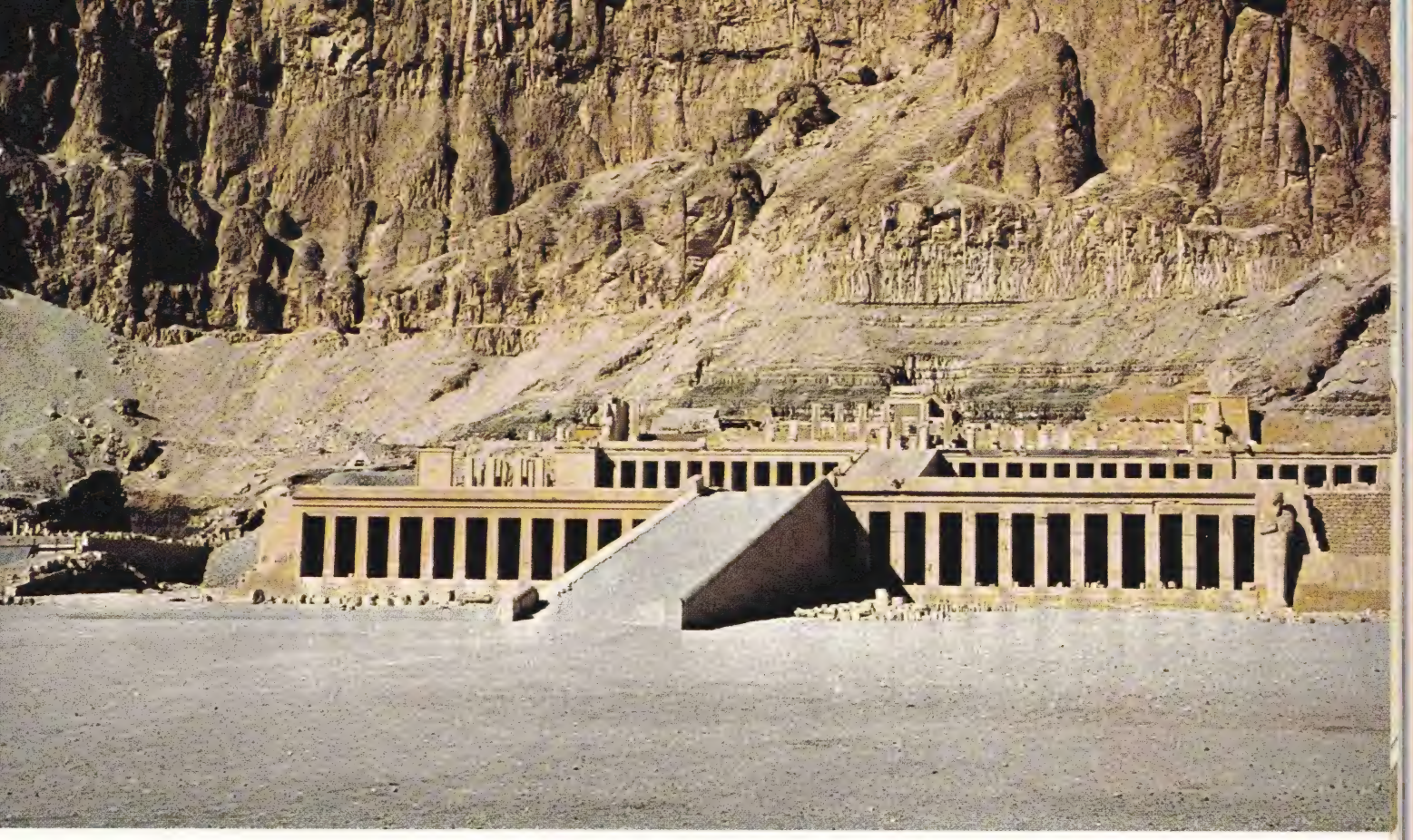
Katastrophenbringer hielt, voraus, sie stellten auch einen genauen *Kalender* auf, anhand dessen wir den Beginn einer rationalen Berechnung der Zeit zu datieren vermögen.

Das *ägyptische Jahr* begann an dem Tag, an dem der *Sirius,* der Hundsstern (der hellste Stern am Himmel), bei Tagesanbruch aufging. Es hatte genau 365 Tage; die sechs weiteren Stunden wurden nicht, wie bei uns, berechnet. Auf diese Weise stimmten der Sonnenaufgang und der Aufgang des Sirius (oder Sothis; nach einem ägyptisch-griechischen Wort) nur alle 1461 Jahre vollkommen überein *(Sothisperiode).* Wir wissen von einem solchen Zusammentreffen im Jahre 139 n. Chr., und wir wissen auch, daß der Sothiskalender schon vor der Zeit der großen Pyramiden (etwa 2750 v. Chr.) angewandt wurde, was bedeutet, daß er spätestens 4200 v. Chr. eingeführt worden war.

Schon seit langem beobachtete man die Sterne, um die günstigsten Zeiten für die Aussaat und die Ernte zu ermitteln. Vielleicht hing der Aufstieg des Gottkönigs zum Teil mit der Überzeugung zusammen, daß alle Regeln für die Beschaffung der Nahrung und für ein friedliches Leben am Himmel „geschrieben" standen. Warum sollte man also die Person des Königs nicht akzeptieren – als Hüter und Verwalter der Autorität des Himmels und als Zeichen der Ordnung und der Gewißheit, daß alles, was geschieht, zum besten geschieht?

Zusammenbruch und Wiederaufbau

Das perfekte System des Alten Reichs funktionierte so hervorragend und bestand so viele Bewährungen, daß es das recht bewegte Auf und Ab seiner folgenden Geschichte doch auf zufriedenstellende Weise überstand. Solange der Fluß seine Funktion erfüllte, konnte der Mensch sein im Grunde friedliches Leben weiterführen.



Der Bestattungstempel bei Dair Al Bahri ist der Königin Hatschepsut, der Tochter Thutmosis I. (der einzigen wirklich bedeutenden Frau der ägyptischen Geschichte), gewidmet. Sie lebte in der Zeit der glorreichen 18. Dynastie.

Um etwa 2200 v. Chr. verfiel die Macht des Alten Reichs unter seinem König *Pepi II.* (*Phiops II.;* 6. Dynastie). Es gab einen Massenaufstand, der ganz Ägypten erfaßte, sozusagen die erste historische Revolution. „Alles was gut war, ist verschwunden." „Nichts ist übriggeblieben, nicht einmal das Schwarze unter dem Nagel." „Männer töten ihre eigenen Väter." „Ra (der Sonnengott) muß die Welt neu erschaffen." Solche und ähnliche Sätze tauchen immer wieder in den Chroniken dieser Periode auf. Anscheinend wurde der Zusammenbruch durch eine zunehmende Schwächung der zentralen Autorität ausgelöst, vielleicht durch eine „Humanisierung" des Gottkönigs.

Natürlich konnte danach nichts mehr so sein, wie es früher war: Entweder war der Bruch vollständig, oder der König mußte den Berggipfel erneut erklimmen und alle anderen zurücklassen, weil sonst die Gefahr bestand, daß jemand sich gegen ihn behaupten und die Oberhand gewinnen könnte. Eingeschlossen in seinem Palast in Memphis, erlebte Pepi II. die Plünderung der Stadt und erhielt die Nachricht von verlassenen Feldern und zerstörten Ernten.

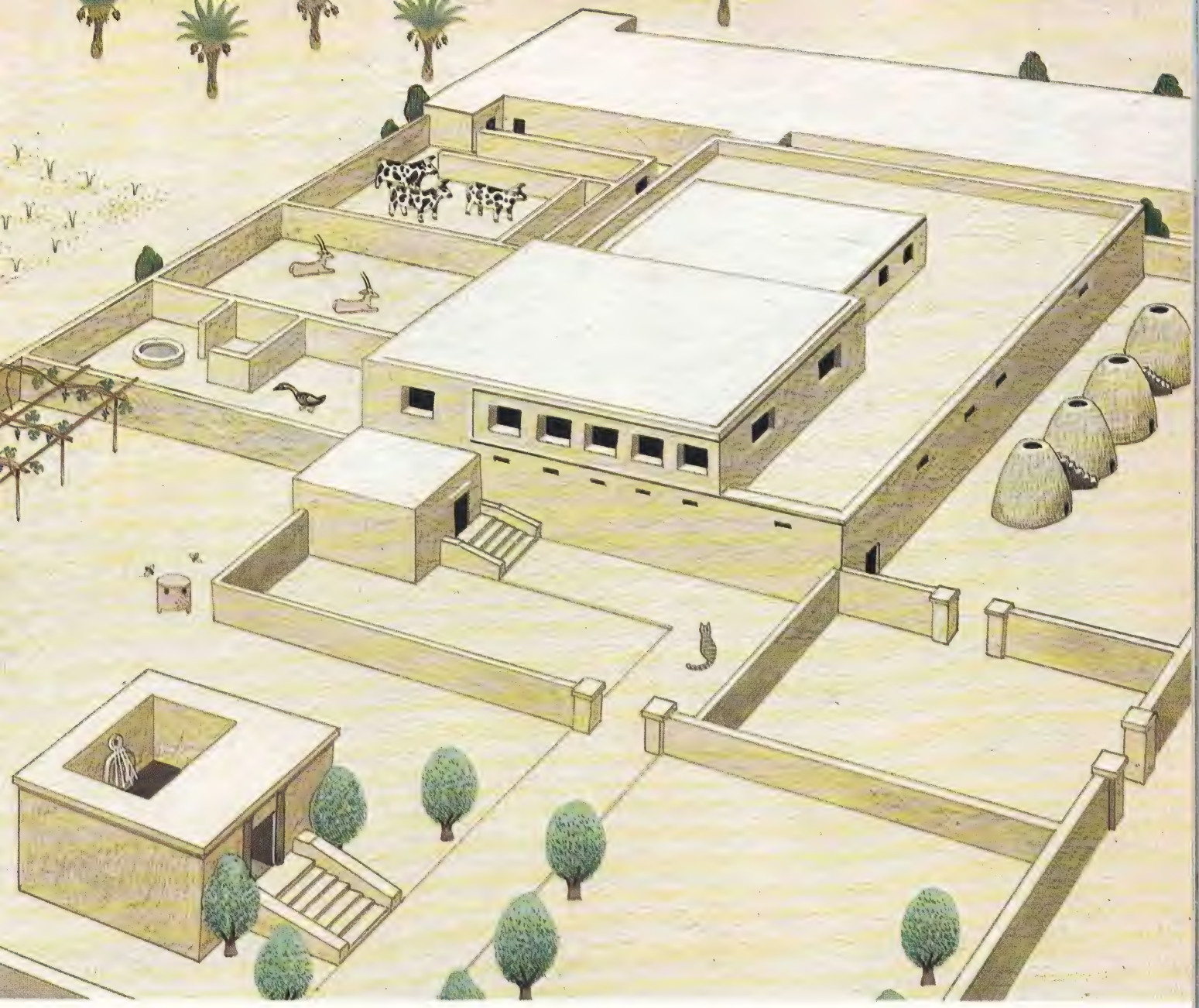
Es dauerte rund 200 Jahre, bis das gut funktionierende System des Reiches wiederhergestellt war. Die Gaufürsten hatten den Aufstand anfangs begrüßt und auch unterstützt. Später waren sie dann außerstande, die Revolution wieder in den Griff zu bekommen. Schließlich wurden radikale Zugeständnisse gemacht: Der König war kein Gott mehr. Die kultische Verehrung der Nationalgötter (und mancher lokaler Gottheiten) überließ man der reichlich repräsentierten Priesterkaste, über die der König künftig lediglich in einigen wichtigen offiziellen Zeremonien zu bestimmen hatte. Die Mumifikation wurde jetzt für jeden machbar, der sie sich leisten konnte. Die praktische Auswirkung solcher Entwicklungen war, daß die Aussicht auf etwas Unbestimmtes, nicht Greifbares die

Rechts: Kopf einer Statue von Ramses II. aus dem Tal der Könige (Theben).

Standespersonen und die *Priester* beschwichtigte. Die äußeren Zeichen ihrer Privilegien stellten ein mächtiges Statussymbol dar. Das Recht, das eigene Grab errichten zu dürfen, auf den Wänden über sich selbst schreiben zu können, Anweisungen für die eigene Mumifizierung zu hinterlassen, muß diesen Ägyptern des *Mittleren Reichs* wohl behagt haben.

Das Reich war indessen in viele Teile zersplittert und erlebte deshalb seinen endgültigen Zusammenbruch. Später wurde die Staatseinheit durch eine neugegründete Dynastie wiederhergestellt. Die neue Hauptstadt wurde *Theben*. Wir schreiben inzwischen das Jahr 2000 v. Chr. Die Gaufürsten waren immer noch verfehdet und bekriegten sich fortwährend. Eine Lösung versprach sich König *Amenemhet I.* von der Einführung eines neuen Gottes: *Amun (Amon, Ammon)*. Seine Nachfolger unternahmen große militärische Eroberungsfeldzüge nach Nubien (Sudan), förderten den Handel im Mittelmeerraum und verwandelten das Al-Faijum-Gebiet in ein Musterland landwirtschaftlicher Bebauung.

Rechte Seite: Der altägyptische Bauernhof beherbergte viele Tierarten (einschließlich Honigbiene). Sie wurden in geeigneten Einfriedungen gehalten. Die Nutzpflanzen (inklusive Weinrebe) wurden außerhalb des Innenhofs angebaut. Der umfriedete Teil enthielt auch Kornspeicher und kleinere Räume für kultische Zwecke.



Die Eindringlinge

Nunmehr gelangte eine Vielzahl von Völkern, aus Syrien kommend, in verschiedenen Wanderungswellen nach Ägypten. Diese Völker waren für die Ägypter „Prinzen aus fremden Ländern", die traditionsgemäß mit dem Namen *Hyksos* belegt wurden. Sie gründeten im Ostdelta eine neue Hauptstadt, *Auaris,* und beanspruchten für sich die Königsherrschaft über Ägypten.

Die thebanischen Prinzen sannen natürlich auf Rache. Um 1600 v. Chr. gelang es ihnen, die „Fremden" aus dem Land zu vertreiben und bis in ihr eigenes Gebiet zurück zu verfolgen. Der Handel blühte wieder auf, und neue Spezialitäten wurden importiert. Es gab Grund genug zu Freudenfesten, und ein neues prachtvolles Bauwerk um das andere wurde errichtet.

Die unverwüstliche Natur des alten Ägypten, seine Begründetheit im Mythos, übte eine ungeheure Faszination aus. Die Künstler dieser Epoche (inzwischen haben wir die 18. Dynastie, die ungefähr von 1500 bis 1350 v. Chr. dauerte) fanden Vergnügen daran, die Vergangenheit

Unten: Szene aus einem der Felsentempel von Abu Simbel: Afrikanische Gefangene im Kniefall vor ihren ägyptischen Besiegern.

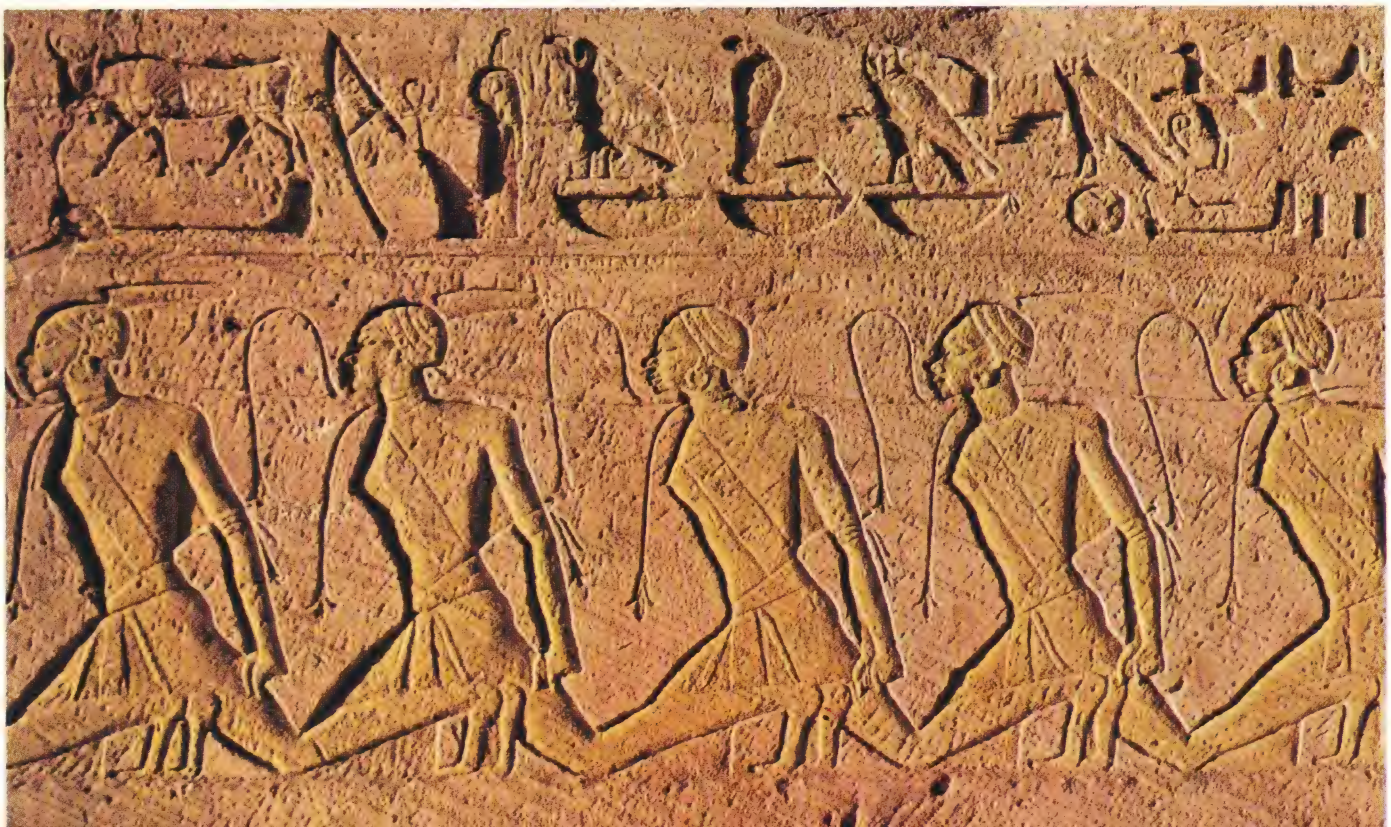
neu zu beschwören, und verliehen den neuen Gesichtern den strengen Blick der alten Bilder.

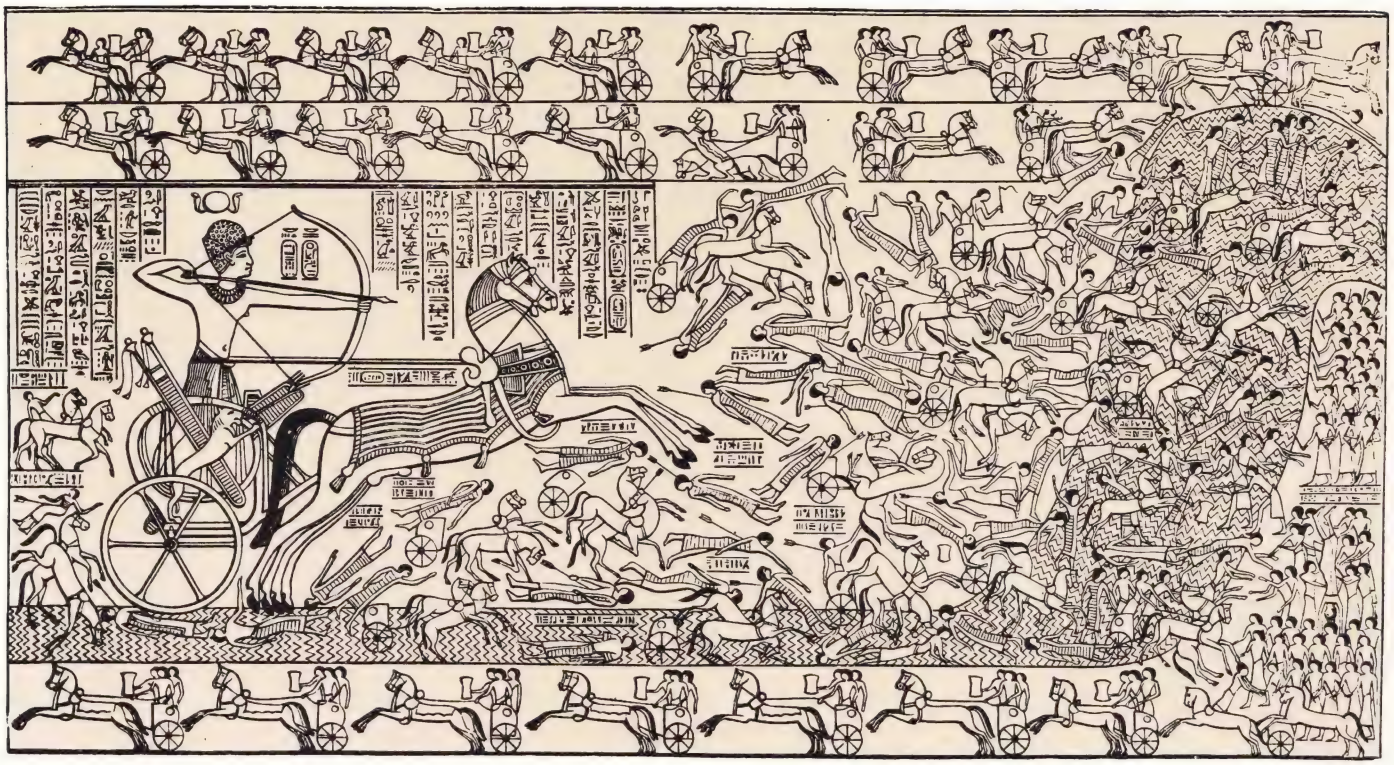
Die Priester des *Amunkults* drängten jetzt immer mehr in den Vordergrund, und es kam erneut zur Spaltung der Macht. Der König führte einen neuen Glauben ein, der die „alten" Götter hinwegfegte. In der Kunst wandte man sich von dem bis dahin in Ägypten üblichen Stil ab und stellte den Menschen erstmals realistisch dar. Es war die Epoche des *Echnaton.* Natürlich wurde, wie immer bei großen Veränderungen, die Hauptstadt verlegt, diesmal nach *Amarna* in Oberägypten. Dort entstand eine der großartigsten Städte, die es je in Ägypten gegeben hat: *Achet-Aton.* Der ketzerische König war aber nicht nur ein Visionär: Die Archive von Amarna geben Zeugnis von seiner komplexen Diplomatie in den schwierigen Verhandlungen mit den Hethitern, die damals immer mehr zur drohenden Gefahr wurden.

Die neue Religion, die, trotz der erklärten Volksverbundenheit des Sonnenkults um den Gott *Aton* (der allen Menschen zugänglich war, da die Sonne auf jeden herabscheint), vom Volk niemals wirklich angenommen wurde, währte nicht lange. Noch einmal, allerdings erst nach Echnatons Tod, gewannen die Priester des Amun die Oberhand, um erst zur Zeit Ramses II. wieder in ihre Schranken verwiesen zu werden. Dieser König, *Ramses II.,* folgte seinem Vater um 1290 v. Chr. auf dem Thron. Er gab dem Land wieder neue Grenzen, wobei er Ägypten ein beträchtliches Stück von Nubien einverleibte (das schwer lastende Steuern in Form von Gold zahlen mußte). Mit dem Hethiterkönig *Muwatalli* handelte er nach der großen Schlacht bei *Kadesch* in Syrien einen ehrenvollen Vertrag aus.

Eine Schlacht, die Geschichte machte

In Syrien hatten sich damals, sowohl auf Seiten der Hethiter als auch auf Seiten der Ägypter, große Truppenzusammenballungen formiert. Im Jahre 1296 war ein Zusammenstoß unvermeidbar geworden. Dabei hatte sich Ramses gehörig verrechnet; denn nach Jahren kleinerer, unbedeu-





Die Schlacht von Kadesch (1285 v. Chr.) zwischen Ägyptern und Hethitern, bei der es weder Sieger noch Besiegte gab.

tender Scharmützel kam es hier bei *Kadesch* zur entscheidenden Schlacht, in der zunächst die Hethiter überlegen waren, und zwar dank der Stärke ihrer eisernen Schwerter, dank ihrer Geschicklichkeit als Reiter und dank ihren Streitwagen.

Alles, was wir über diese Schlacht wissen, muß als unzuverlässig gelten, da unsere Information von den Wänden des Ramses-Tempels herrührt, wo sich natürlich nicht ein einziges Wort findet, das nicht voll des Lobes für den großen König und sein Geschick als Heerführer wäre. Von den Hethitern gibt es lediglich einen wortkargen Friedensvertrag, der allerdings zum Teil die wahren Geschehnisse enthüllt. Ramses trug letztlich nur deshalb den Sieg davon, weil er klug genug war, sich rechtzeitig zurückzuziehen. Immerhin hatten offenbar auch die Hethiter schwere Verluste erlitten und waren wahrscheinlich nicht besonders scharf darauf, ein Land zu erobern, dessen Verwaltung in ihren Augen beinahe ans Übernatürliche grenzte. Also handelte man miteinander einen Friedensvertrag aus und tauschte, um den Pakt zu bekräftigen, unter Proklamationen der Verbrüderung Prinzessinnen aus.

Dennoch war Kadesch keine Allerweltsschlacht. Wenn damals die Ägypter wirklich besiegt worden wären und die Hethiter sich tatsächlich entschlossen hätten, weite Teile Ägyptens zu erobern, würde die Welt heute vermutlich anders aussehen. Wir brauchen nur daran zu denken, wie die alexandrinische Zivilisation, die durch ihre Kultur Rom und die ganze westliche Welt beeinflußt hat, einer schwächer werdenden ägyptischen Zivilisation aufgepfropft wurde, um zu verstehen, daß ein anderer Ausgang der Ereignisse die tatsächliche historische Entwicklung hätte verhindern und der gesamten mittelmeerischen Welt und damit der damals bekannten Welt überhaupt ein gänzlich anderes Gesicht hätte geben können.

Oben: Die Hacke war das typische Bodenbearbeitungsgerät des ägyptischen Bauern, wie auf diesem Bild im Grabmal des Nacht zu sehen ist.

Die späteren Dynastien waren alle mit Grenzkriegen gegen Libyen und mit Zusammenstößen im Mittelmeerraum beschäftigt. Der Amunpriesterschaft gelang es wieder einmal, für eine gewisse Zeit Männer ihrer Wahl auf den ägyptischen Thron zu setzen.

Bis 650 v. Chr. gab es keinen wirklichen Aufschwung. Die assyrischen Könige hatten sich die lange Folge innerer Unruhen zunutze gemacht und eroberten Theben (667 v. Chr.). Die neue Monarchie wurde in *Sais* im Delta errichtet: *Psammetich II.* schüttelte die assyrische Herrschaft wieder ab und reduzierte die Macht der Priesterschaft. Die Verehrung der Vergangenheit, die so typisch für die 18. Dynastie war, blühte in der 26. Dynastie erneut auf. Diesmal aber gab es keinen Echnaton! In den Künsten machte sich so etwas wie Erstarrung bemerkbar, indem eigentlich nur mehr inhaltsleere überkommene Formen wiederholt wurden – eine Art ägyptischer „Neoklassizismus".

Rechte Seite: Ägypter waren vermutlich die ersten, die Katzen domestizierten. Die Hauskatzen wurden dort bei der Vogeljagd eingesetzt und waren der (katzenköpfigen) Göttin Bastet heilig.

Die Begegnung mit den Persern und den Griechen beendete dann die eigenständige Geschichte des Ägyptens der Pharaonen.

Ein gesundes Ökosystem

Durch alle diese Höhen und Tiefen der Geschichte Ägyptens hindurch blieb der Fluß unverändert. Er tat seine Pflicht. Er beförderte den Schlick, der das Land fruchtbar machte und Nahrung für Mensch und Vieh lieferte, unbekümmert um Intrigen, Krieg und Plünderung an seinen Ufern. Wie ein Geländefahrzeug überwand der Nil alle Schwierigkeiten und verteilte sein Überschwemmungswasser über das ganze Land und blieb weiterhin ein sehr günstiges und bequemes Beförderungsmittel.

Was ist von dieser langen, langen Geschichte übriggeblieben, die, wie wir versucht haben zu zeigen, alles andere als gleichmäßig verlief, sondern viele Höhen und Tiefen erlebte? Folgendes ist zu bekunden: Das Land hatte eine erstklassige Landwirtschaft, die in großem Umfang im Niltal betrieben wurde. Außer auf den günstigen Grundbedingungen basierte der Wohlstand der *ägyptischen Landwirtschaft* vorwiegend auf der gleichmäßigen Entwicklung einer Vielzahl von *Kulturpflanzenarten.*

Neben Weizen wurden auch Flachs, Hülsenfrüchte (Linsen), Zwiebeln, Weinreben, Ölpflanzen (Rizinussamen und, später, in geringerem Umfang Oliven) angebaut. Man züchtete auch Zierpflanzen. Wieder andere Pflanzen waren wegen ihrer medizinischen Eigenschaften bekannt und geschätzt.

Zwei Tierarten insbesondere wurden domestiziert: die Biene und die Katze. *Bienen* züchtete man in Bienenkörben, die den unseren ähnlich waren. Die Domestikation der Honigbiene (die erste Domestikation eines Insekts überhaupt, auch wenn etwa zur selben Zeit in China Seidenraupen gezüchtet wurden) lieferte nicht nur reichlich *Honig,* sondern gerantierte auch, daß die angebauten Pflanzenarten wirksam bestäubt wurden, und erleichterte eine sichere und schnelle Kreuzung der Arten.

Die *Katze* dagegen war das einzige Tier, das aus religiösen Gründen gezähmt wurde. Im Neolithikum wurden Frauen in Anatolien oft mit Katzen in den Armen dargestellt, die sich liebevoll an sie schmiegten; manchmal wurden Frauen sogar beim Stillen von Kätzchen dargestellt. Die Hauskatze, die kleinste Vertreterin der Familie der Feliden, hat den Menschen immer schon fasziniert. In Ägypten, mit der typisch rationalen Einstellung dieser Zivilisation, wollte der Mensch seine Vorliebe für Katzen rechtfertigen, indem er behauptete, daß die Katze ein göttliches Tier sei, da ihre Augen, die auch im Dunkeln leuchten, die Sonne (Ra) auch dann noch sehen könnten, wenn sie in den Augen des Menschen längst untergegangen sei. Die Ägypter glaubten, daß der Sonnengott, wenn die Sonne unterging, in ein Boot steige, das ihn durch die Nachtstunden zur anderen Seite der Welt befördere.

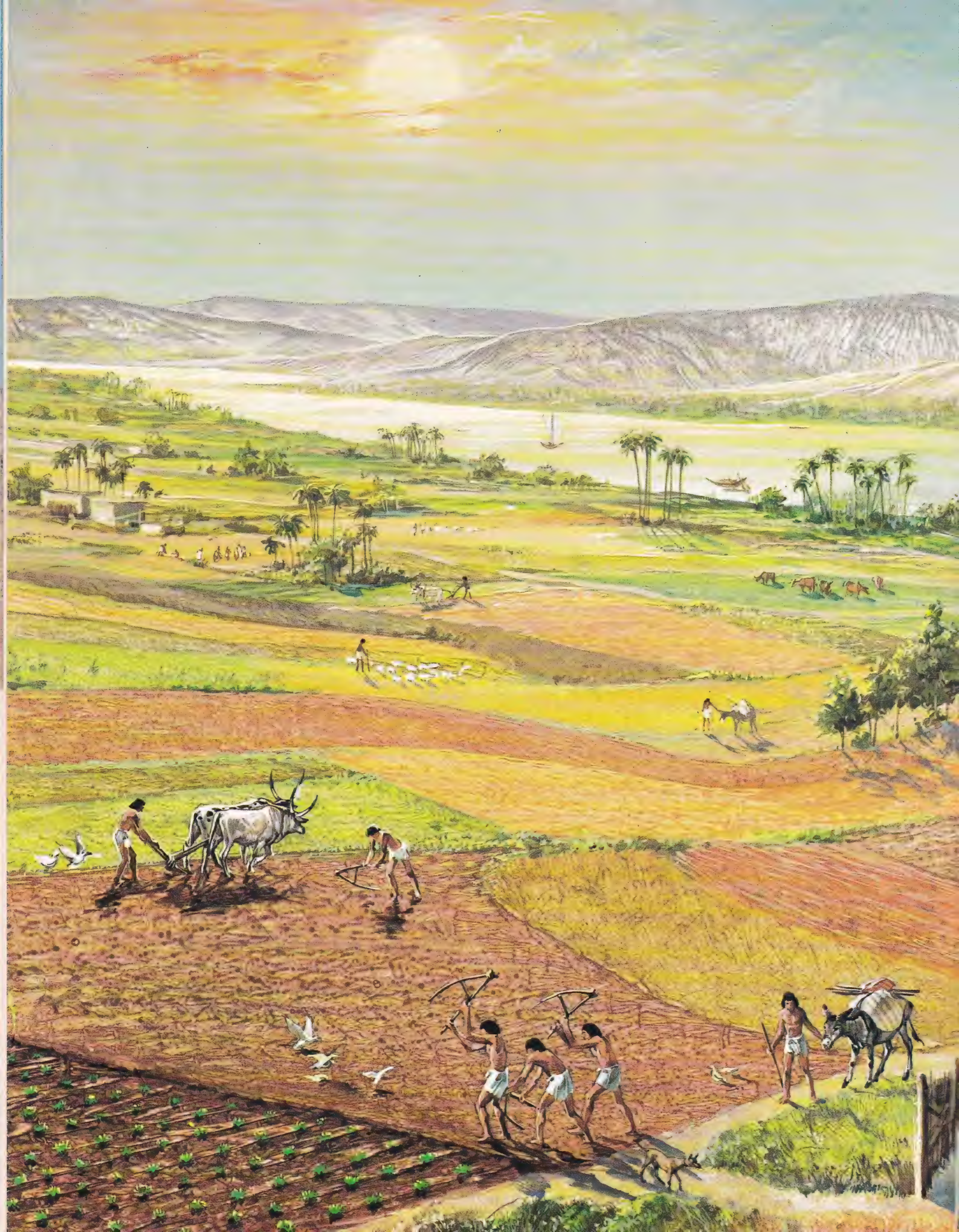
Auch der *Esel* wurde im ägyptischen Altertum gezüchtet. Der *Büffel* wurde in der späten vordynastischen Epoche domestiziert, das *Pferd* jedoch wurde erst von den Hyksos eingeführt. Das verhältnismäßig späte Erscheinen des Pferdes auf ägyptischem Boden wird dadurch bestätigt, daß keiner der Götter im komplexen ägyptischen Pantheon Ähnlichkeit mit einem Pferd hat.

In manchen Fällen hatte die Tendenz des Menschen, göttliche Erscheinungen in verschiedenen Tieren wahrzunehmen, die Folge, daß auch deren Körper nach dem Tode „präpariert" und für die Ewigkeit aufbewahrt wurden. Es gibt Mumien von Katzen, Krokodilen und Ibissen, was eigentlich auch ein Zeichen der grundlegenden ägyptischen Neigung zur Individualität ist. Die Liebe zum Leben, die trotz der Ungewißheiten des Alltags bestand und diese überwand, scheint zu bestätigen, daß der Ägypter seine ureigene persönliche Geschichte zum Mittelpunkt einer Welt machte, die nur vom unvergänglichen Bild des Gottkönigs überragt wurde. In manchen Tieren nahm der Mensch eine ähnliche Unvergänglichkeit wahr, die sie mit den gleichen göttlichen Eigenschaften erfüllte. Sicher ist jedenfalls, daß die Ägypter sehr tierlieb waren und in engem häuslichem Kontakt mit ihnen lebten.

Sicher ist allerdings auch, daß die Sumpfgebiete mit ihren stehenden Gewässern die *Bilharziose* gefördert haben, diese heimtückische Infektionskrankheit, die auch heute noch in dieser Gegend wütet. Man hat in einigen Mumien Zysten gefunden, die von Bilharzien verursacht wurden. Schwieriger ist der Nachweis der Malaria und der Schlafkrankheit für die damalige Zeit. Ein medizinischer Text, in dem die Nachwirkungen (Gliederzittern, Fieber und dgl.) einer Fahrt durch die Sümpfe beschrieben werden, bezieht sich möglicherweise auf die Malaria.

Überhaupt enthüllen altägyptische medizinische Texte oft Erstaunliches. Einiges davon hat uns die alexandrinische Tradition überliefert.

Abbildung auf den beiden folgenden Seiten: Charakteristisch für die ägyptische Landwirtschaft am Nil zur Zeit der Pharaonen war die Vielfalt des Anbaus und der Tierhaltung. Im übrigen wurde der Fluß mit seinem fruchtbaren Schlick, die „Lunge" des Landes, bis zur Römerzeit niemals einem landwirtschaftlichen Raubbau unterworfen. So konnten sich hier die natürlichen Gegebenheiten und die zivilisatorischen Faktoren in idealer Weise ergänzen.



Oben: Statue von Tutenchamun mit einer Harpune (18. Dynastie; Tal der Könige in Theben).

Rechts: Dieses Bild im Grab von Thutmosis III. in Theben veranschaulicht die unmittelbare Naturverbundenheit der Ägypter: Der Pharao wird von der Göttin Isis in Gestalt eines Maulbeerfeigenbaums gesäugt.

Ohne Zweifel wurde aber auch überall *Magie* geübt (zahllos sind die Beschwörungen gegen alle Arten von Unfällen und Heimsuchungen, vom Schlangenbiß bis zum Zahnschmerz). Es entwickelte sich allmählich ein sorgfältiges Studium des menschlichen Körpers und seiner Krankheiten. Es gab auch bereits eine Art Pharmakopöe (Arzneibuch), die weitgehend auf die Eigenschaften und „unfehlbaren" Wirkungen von Pflanzen abhob.

Interessant ist, daß es dem König und allen Personen von Rang verboten war, Fische aus dem Fluß zu essen (dabei beherbergt der Nil Hunderte verschiedener charakteristischer Arten von Fischen, alle ausgezeichnet zum Verzehr geeignet). Dieses Tabu ist schwer zu erklären. Möglicherweise lag eine Entscheidung sozialpolitischer Art zugrunde: Vielleicht wollte man den Bauern stärker an den Fluß binden, oder man wollte sicherstellen, daß immer ein hinreichender Nahrungsvorrat für die großen Bevölkerungsmassen vorhanden war.

Mesopotamien und Anatolien

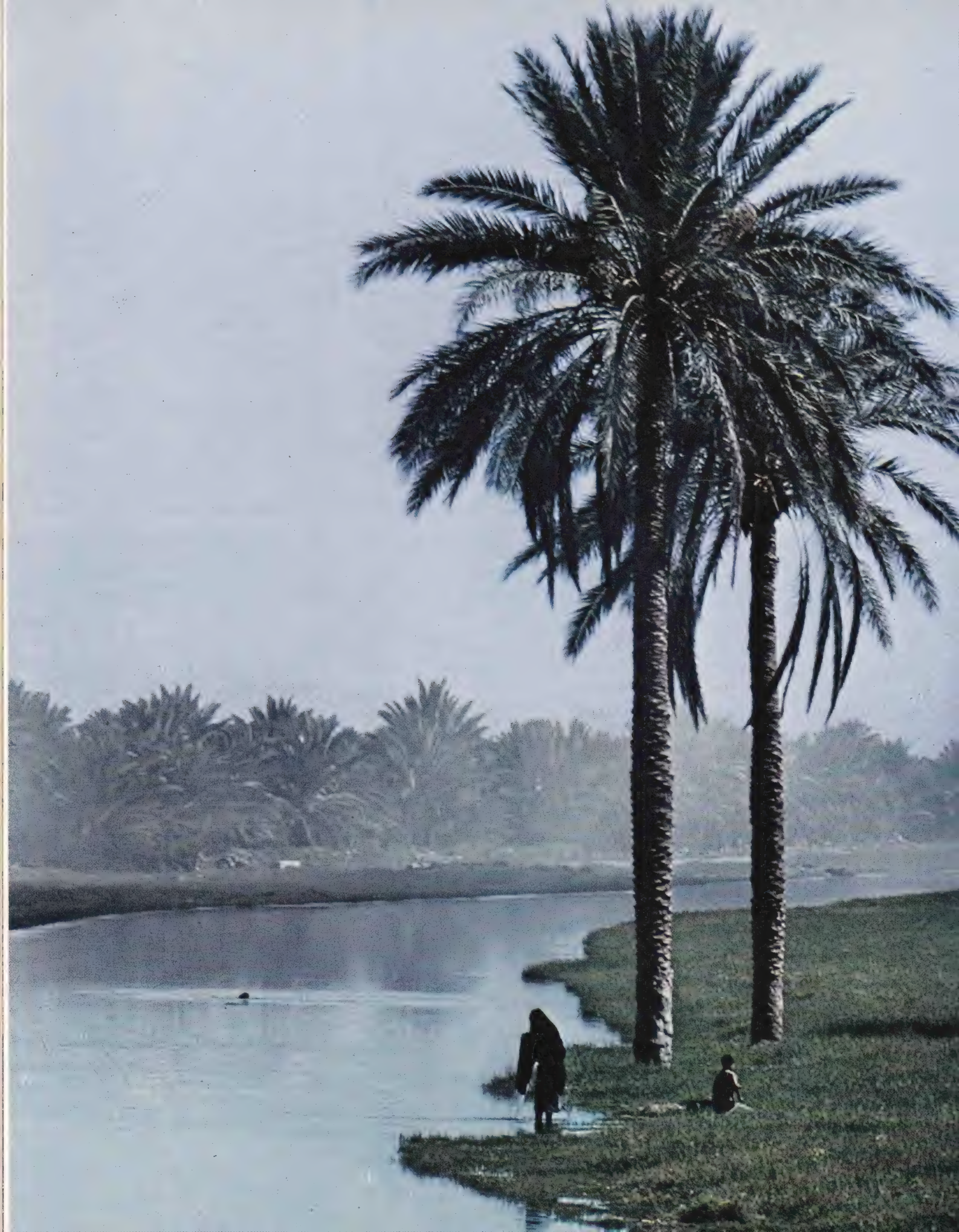
Die zwei Ströme

Jeder Überblick über die Geschichte Ägyptens bezieht sich notwendigerweise immer wieder auf die Kontinuität, die durch den Fluß dargestellt wird. Der Nil ist der immer gleichbleibende, schweigende Zeuge einer unzusammenhängenden Folge von Ereignissen und Veränderungen. Ein solcher dauernder Rückbezug wäre im Falle *Mesopotamiens* unangebracht. Die Geschichte dieser Region ist mit so vielen unterschiedlichen Völkern und Ereignissen verknüpft, daß es niemandem einfallen würde, hier Kontinuität zu vermuten.

Hier wie dort gab es einen grundlegenden Unterschied zwischen den nördlichen Landstrichen am Oberlauf der zwei großen Flüsse und den südlichen mit Susa, dem „Wurmfortsatz" Elams. Die Gegend ist äußerst fruchtbar, obwohl die beiden Flüsse bei Überschwemmungen ungeheuren Schaden anrichten können. Es gibt dort auch gewaltige Mengen Lehm, der den Rohstoff für die Töpferei und für die Herstellung von Ziegelsteinen lieferte. Diese anfangs in der Sonne erhärteten *Ziegelsteine* benutzte man bei der Konstruktion von prachtvollen Gebäuden, die jedoch die Zeit nicht so gut überdauert haben wie die vergleichbaren ägyptischen Bauten.

Neue kulturelle Elemente wurden von den *Sumerern,* einem nichtsemitischen Volk, eingeführt und vermischten sich um 3500 v. Chr. mit alteingesessenen chalkolithischen Kulturen. Die bekanntesten damaligen Städte, die ziemlich dicht bevölkert waren (man vermutet jeweils mehrere tausend Einwohner), waren *Kisch* (heute Ruinenhügel *Tall Al Uhaimir*) und *Eridu* (heute Ruinenhügel *Abu Schahrain*). In Kisch fand man das früheste Zeugnis einer *Bilderschrift.* In Eridu stehen die Ruinen eines prachtvollen Tempels in Form einer *Zikkurat* oder eines Stufenturms, der traditionell mit der biblischen Beschreibung des Turms von Babel in Zusammenhang gebracht wird. Diese frühen Bauwerke und die mit ihnen zusammenhängenden Kulturen wurden allesamt durch die bereits erwähnten sintflutartigen Überschwemmungen buchstäblich ausgelöscht.

Im Süden des Landes herrschte die erste Dynastie von *Ur.* Diese Stadt war das bemerkenswerteste Beispiel eines Stadtstaates mit einer völlig



autonomen Wirtschaft. In den dreißiger Jahren grub der englische Archäologe Leonard *Woolley* den berühmten *Todesbrunnen von Ur* aus, wo anscheinend alle Mitglieder des königlichen Hofs zusammengekommen waren, um rituellen Selbstmord zu begehen. Unter den Funden aus dieser Stadt befindet sich auch die *Standarte von Ur,* eine feingearbeitete hölzerne Tafel (vielleicht der Resonanzkasten einer Harfe), auf der das Mosaikbild eines zeremoniellen Zugs in Lapislazuli und Muschelfragmenten dargestellt ist, in dem ein Streitwagen mit soliden Holzrädern von Eseln gezogen wird.

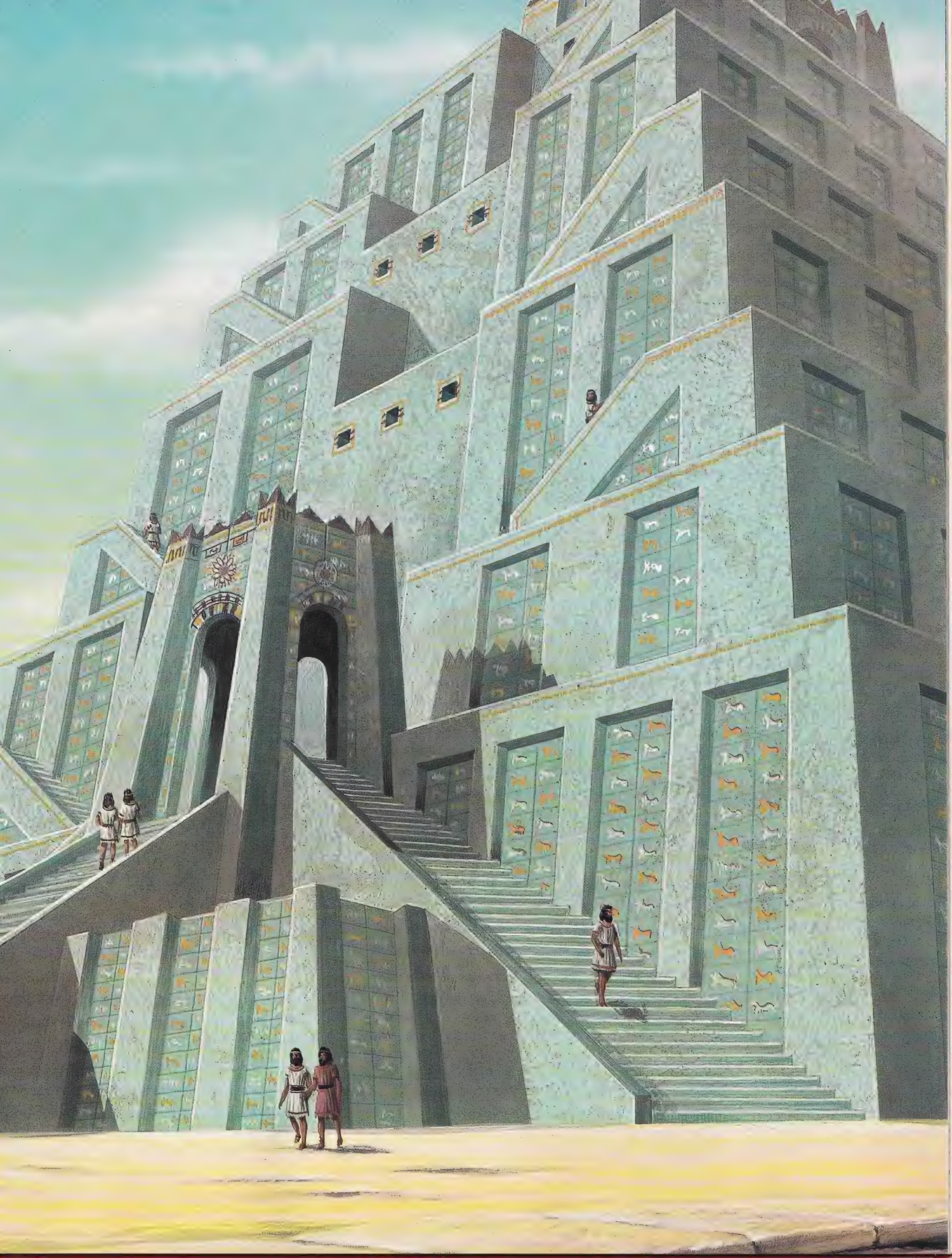
Oben: Die sog. „Standarte von Ur", ein Mosaik aus Lapislazuli und Muschelfragmenten. Man beachte die soliden Räder am Streitwagen und die Verwendung von Eseln als Zugtieren.

Linke Seite: Der heutige Euphrat im Gebiet von Bagdad.

Sumer und die Verwaltung von Gottes Land

In dieser Periode (etwa 2700 v. Chr.) fanden zylindrische Siegel große Verbreitung. Sie bestanden aus einem kleinen Stein- oder Keramikgegenstand, der einen sich immer wiederholenden Abdruck hinterließ, wenn man ihn über eine Schicht weichen Lehms rollte. Dieser Abdruck ähnelte einer Bildgeschichte (Comic strip) und diente dazu, Ereignisse relativ einfach zu beschreiben. Das *Rollsiegel* war ein Kommunikationsmittel in ganz Mesopotamien und darf als Vorläufer der Schrift angesehen werden. Aus den Bildzeichen entwickelte sich über eine Reihe von Vereinfachungen eine Art von *Keilschriftalphabet.* Man

Die Zikkurat war das höchste Gebäude in der mesopotamischen Stadt: ein Hochtempel auf einer künstlichen Terrasse, zu dem eine mehrteilige Freitreppe hinaufführte.



Die Grabsäule von Naramsin. Die Inschrift berichtet über die Kriegszüge dieses Königs von Akkad, eines Sohnes des Sargon, und bekundet demütig den Beistand, den die Götter im Kampf gegen die Feinde (die als furchtbare Ungeheuer dargestellt sind) gnädig gewährten.

konnte die Zeichen mit Hilfe eines dreikantiken Griffels leicht in feuchten Lehm einritzen. Die Keilform der Zeichen erfuhr in ihrer Entwicklung eine Reihe von Variationen, sie blieb jedoch das Grundelement aller mesopotamischen Schriftarten. Die Kunst und Fähigkeit des Schreibens war eine wichtige Voraussetzung für die organisierte Verwaltung einer breit angelegten Nahrungsproduktion.

Natürlich brachte die Dichte der Bevölkerung, wie sie in einer funktionierenden Landwirtschaft unvermeidlich ist, strenge soziale Unterschiede mit sich. Die Gießer und Schmiede schätzte man hier noch höher als in Ägypten. Die Sumerer erklärten alle in der Stadt vorhandenen Objekte zum ausschließlichen Eigentum einer lokalen Gottheit. Eine Art „Adjutant" (der als Beamter seine Pflicht tat) fungierte als Mittler zwischen dem unsichtbaren Gott und der Stadt mit ihren Einwohnern und ihren verschiedenen Bedürfnissen.

Dies bot eine viel einfachere Lösung der komplexen theologischen Probleme als das ägyptische Modell mit dem Status des Gottkönigs. Hat man sich erst einmal darauf geeinigt, daß alles ausschließlich Gott gehört, dann ergibt sich als klare Folgerung, daß niemand ein persönliches Anrecht auf irgendetwas hat. Das Getreide konnte friedlich in „Gottes Silo" gespeichert werden, und wenn die Zeit kam, teilte er, Gott, durch seine Mittler auch die Materialien aus, die die Handwerker für ihre Arbeiten benötigten.

Da die örtlichen Rohmaterialien nicht frei verfügbar waren, waren auch die Handwerker nicht unabhängig. Sie unterstanden der zentralisierten Autorität in genau der gleichen Weise wie die Bauern. Wie diese waren sie an den Fluß gebunden, der als bequemster Zugangsweg den Strom von Rohmaterialien, die die Kaufleute importierten, in die Stadt lenkte – ebenso wie er die Nahrungsmittel auf seinem „breiten Rücken" und den fruchtbaren Schlick in seinem Wasser heranschleppte.

Der *Handel* florierte, und es gab einen beträchtlichen Umsatz von Mineralien, Nahrungsvorräten, die nicht aus der Gegend stammten, und Rindern. Wahrscheinlich waren die *Rinder* ein sehr wichtiger Bestandteil des sumerischen Importhandels. Eine lange Weidezeit in oft sumpfigen Gebieten und die relativ bescheidene Größe der Herden machten es oft erforderlich, die einheimischen Rinder mit Tieren aus anderen Gegenden zu kreuzen, die kräftiger und ausdauernder waren als die einheimische Zucht.

Der Einfluß der sumerischen Städte verbreitete sich entlang dem Lauf der beiden Ströme nach Norden. Eine der größten Städte war *Assur* (heute Ruinenhügel *Asch Scharkat),* das etwa 100 km von Mossul entfernt am Tigris lag. Mehr als 500 Jahre später sollte diese Stadt zur Hauptstadt des assyrischen Reichs werden.

Die verschiedenen Stadtstaaten versuchten fortwährend, sich gegenseitig zu blockieren, und bekämpften sich fast ununterbrochen. Der Konflikt hörte nur dann auf, wenn es einer Stadt gelang, die Oberhand über eine andere Stadt zu gewinnen. Die Siegerstadt erwarb dann eine Art politisch-militärischer Kontrolle über die eroberte Stadt, die jedoch weiterhin ihre eigene Wirtschaftsverwaltung behalten durfte.

Jahrhunderte des Kriegs

Die sumerischen Stadtstaaten genossen keinen wirklichen Frieden – bis etwa 2370, als ein vitales semitisches Volk unter *Sargon I.* in ihre Gebiete eindrang und sie alle unterwarf. Die Macht, die Sargon von seiner Hauptstadt in *Akkad* aus (man hat keinen Ruinenhügel in der Gegend

von Akkad identifiziert; trotzdem wissen wir, daß die Hauptstadt nicht weit vom heutigen Bagdad entfernt lag) ausübte, bewies, daß er die sumerische Mentalität sehr gut kannte. Er mischte sich nicht in die Ortsverwaltung ein, sondern verlangte einzig und allein politische Ergebenheit. Sargon I. präsidierte über eine Art „Commonwealth". Es wird behauptet, daß er sich seine politischen und diplomatischen Fähigkeiten als Mundschenk bei einem König von Kisch angeeignet hätte (auch damals konnte man als einfacher Mann offenbar Karriere machen!). Sargon unternahm gewaltige Kanalbauprojekte, die unter der autonomen Verwaltung der Stadtstaaten undenkbar gewesen wären.

Die Nachfolger Sargons I. waren wie so oft alle entweder schwächer oder wurden durch Entwicklungen von außen überwältigt. Um etwa 2100 v. Chr. gründete der fähige *Gudea* ein autonomes Fürstentum in *Lagasch*

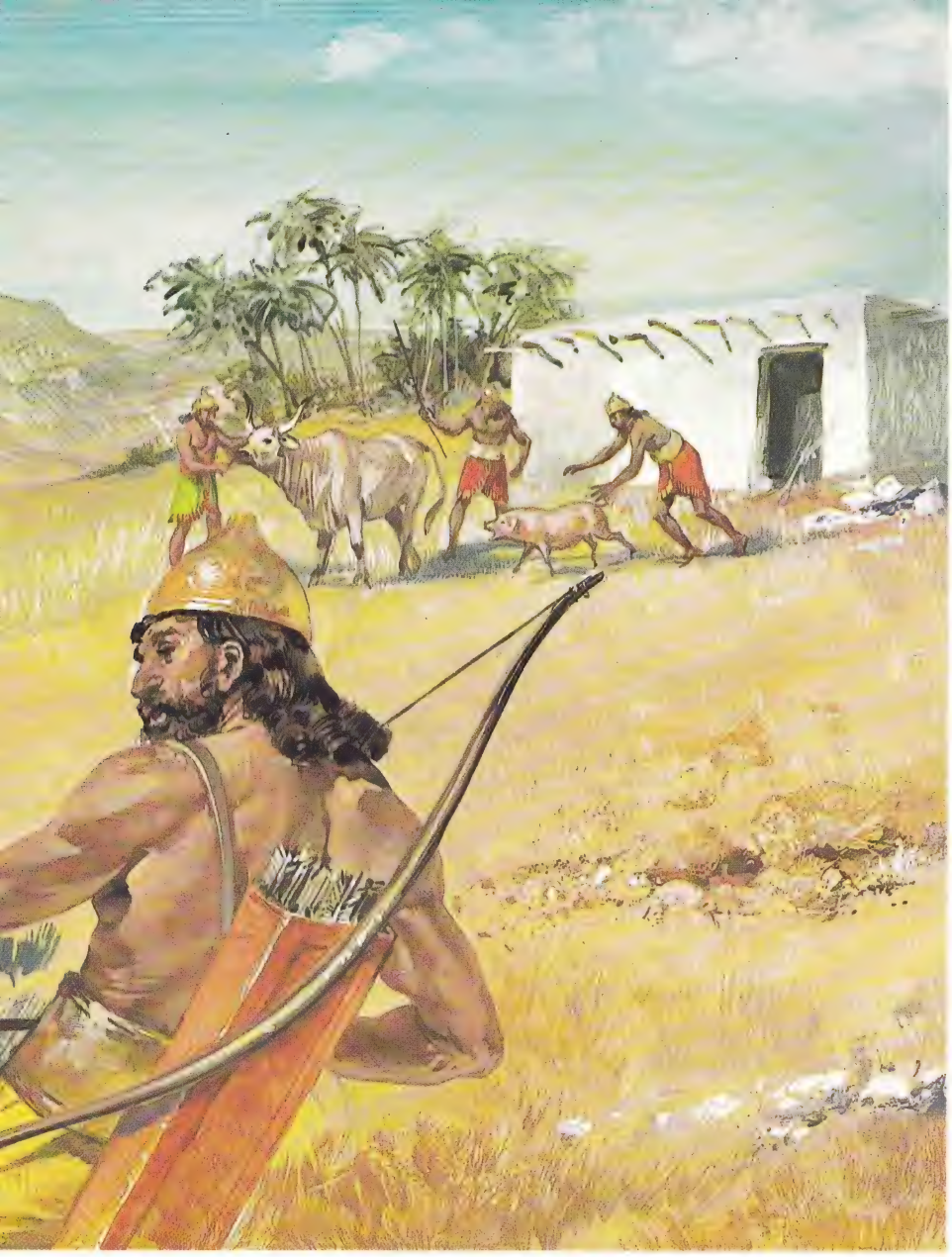
Das Ritual, das die vielen von den Assyrern und den Babyloniern geführten Kriege begleitete, mag in unseren Augen grausam erscheinen; tatsächlich folgte es strengen militärischen und religiösen Traditionen. Dieser Ausschnitt aus einem Relief im Palast des Sanherib in Ninive zeigt assyrische Soldaten beim Einsammeln der Köpfe erschlagener Gegner (Britisches Museum, London).

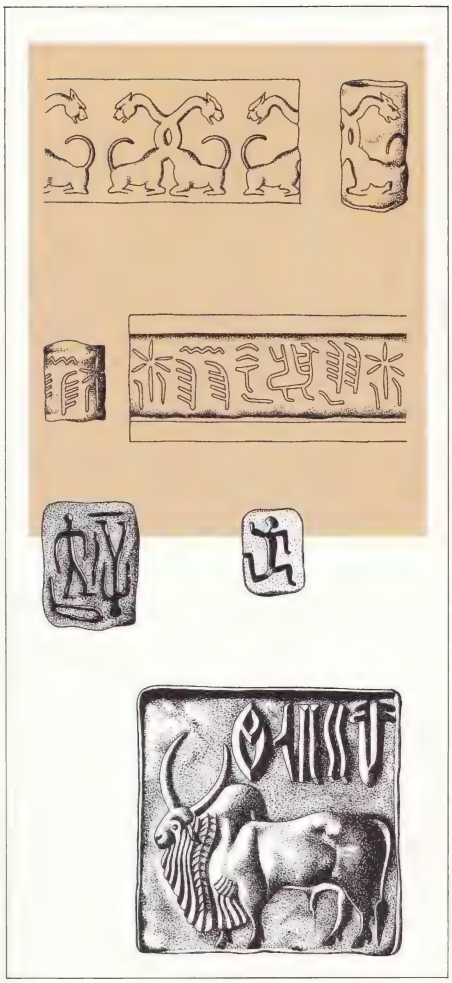
Assyrische Soldaten, die einen Feldzug vorbereiten, verladen Lebensmittel aus Bauernhöfen auf ihre Streitwagen. Zu erkennen ist ferner, daß Bulldoggen, Ergebnisse einer sorgfältig kalkulierten Zucht, für den Angriff eingesetzt wurden.

(heute ein Ruinenhügel etwas nördlich von Ur). Im Jahre 2050 v. Chr. spaltete sich der ganze Süden des Landes ab, und die „dritte Dynastie" wurde mit *Urnammu* gegründet. Mit den südlichen Konföderationen verbindet sich die Bezeichnung „neusumerisch". In einer „Vergeltungswelle" wurde dann der nördliche Teil zurückerobert.

Während dieser Zeit unternahm man den Versuch, das System des „Gottkönigs" einzuführen. Mehrere Kulte wurden zu diesem Zweck ins Leben gerufen. Die Priester spielten eine wichtige Rolle im öffentlichen Leben und übten nicht nur einen religiösen, sondern auch einen politischen Einfluß aus.

Auf die Herrschaft der Sumerer folgten in Mesopotamien die babylonische und die assyrische Periode. *Assyrien* brachte (besonders in der Phase zwischen 800 und 700 v. Chr.) viele große Könige hervor, wie z. B. *Assurbanipal, Assurnasirpal* und *Tiglatpileser.* In diese Periode fallen mehrere militärische Unternehmungen, darunter ein vorübergehender Einfall nach Ägypten. Man befand sich fast ununterbrochen im Kriegszustand (mit wechselndem Kriegsglück).





Oben: Siegel verschiedener Epochen und verschiedenen Ursprungs; oberste Reihe: sumerisches Siegel nebst Abdruck; in der Mitte: vordynastische ägyptische Siegel (zwei mit menschlichen Figuren); ganz unten: Siegelabdruck mit Inschrift (Harappakultur).

Die kulturellen Anregungen dieser Zeit waren wechselseitig. So enthielt die Bibliothek des Assurbanipal viele traditionelle babylonische und sumerische Werke. Auch der berühmte Kodex, den *Hammurapi* im Jahre 1790 v. Chr. diktierte, scheint örtlichen Traditionen einen großzügigen Freiraum zugebilligt zu haben.

Babylonien erreichte seinen höchsten Glanz etwa 600 v. Chr. unter *Nebukadnezar,* dem Eroberer Jerusalems, der die Juden in die Gefangenschaft führte. Unter ihm entstanden in Babylon legendäre Paläste. Die Eroberung durch die Perser bedeutete das definitive Ende der beiden Königreiche im Jahre 539 vor Christus.

Eine Schmalspurökonomie

Der dauernde Kriegszustand wurde erleichtert durch einen Überschuß an verfügbarem „Menschenmaterial" aus der Sklaverei. Im allgemeinen waren die *Sklaven* Gefangene, die zum Verkauf angeboten wurden. Es war jedoch vorgeschrieben, immer eine ganze Familie als geschlossene Einheit zu kaufen bzw. zu verkaufen. Für die Gegner der Assyrer war

Oben: Dieses Terrakottafragment aus dem hethitischen Felsenheiligtum Yazılıkaya stellt einen hethitischen Krieger dar.

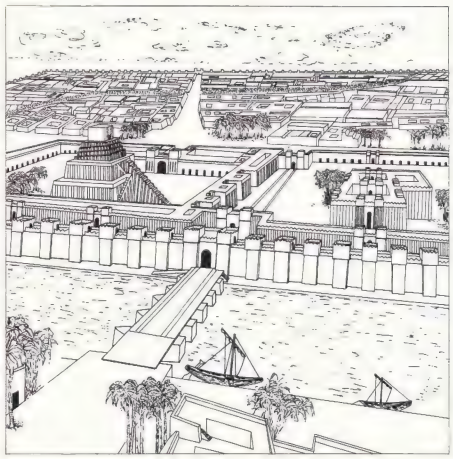
gewiß Gefangenschaft das geringere Übel; denn die Könige von Assur brüsteten sich damit, daß sie die Städte, die sie eroberten, mit den Köpfen der erschlagenen Feinde schmückten.

Es gab bereits eine allgemeine Wehrpflicht (vor allem in Assur). Die männliche Bevölkerung mußte einen Monat lang in der Armee dienen und konnte danach zu ihren gewohnten Aufgaben zurückkehren.

Es wäre nach alledem eine kühne Vermutung anzunehmen, daß trotz des dauernden Kriegszustandes und der fortwährenden Ungewißheit das „Zweistromsystem" störungsfrei hätte funktionieren und ausreichende Erträge hätte abwerfen müssen. Unter den Gegnern (d. h. in diesem Fall zunächst einmal zwischen Babylonien und Assyrien) muß es ein stillschweigendes Abkommen gegeben haben (viel wirkungsvoller, als ein ausdrücklicher Vertrag hätte sein können), daß man sich gegenseitig nicht die Erntevorräte vernichtete. Kriege mit benachbarten Ländern konnten im übrigen auf die Dauer nur Nachteile bringen, da die anderen umfangreiche Mengen an Rohmaterialien lieferten, die man zuhause nicht besaß. Vielleicht beschränkte man sich darauf, die Versorgungsdepots der Nachbarländer zu plündern und eventuell deren Vieh fortzutreiben. Die Klugheit gebot außerdem, mit den Ernten abzuwechseln und die einzelnen Ernten in bescheidenen Grenzen zu halten. Man hielt sich einen Grundbestand an Rindern und Schafen und verwandte viel Mühe und Eifer auf die Zucht von Bulldoggen, die im Kampf eingesetzt wurden.

Es gab verschiedene Handwerke. Zunächst war da die *Metallurgie,* die in der geschichtlichen Zeit enorm wichtig wurde. Sie stellte nicht nur Waffen und Schmuckstücke her, sondern auch Hacken für den Feldbau. Auch die *Weberei* war sehr weit entwickelt; denn unter den landwirtschaftlichen Produkten befand sich Flachs; es ist außerdem möglich, daß auch Baumwolle aus dem Industal importiert wurde. Alle Städte pflegten ausgedehnte *Handelsbeziehungen.* Die Zentralregierung überwachte die Verbindungswege und stellte sicher, daß diese jederzeit voll funktionsfähig waren. Die Schiffe, die den persischen Golf befuhren, wagten sich oft auch auf die offene See hinaus; wir haben sogar Belege für einen Handel mit der Inselgruppe *Bahrain,* die um 2000 v. Chr. indische Produkte exportierte.

Unten: Auf dieser Rekonstruktion von Babylon sind im Vordergrund die Euphratbrücke, links die Zikkurat und rechts der Marduktempel zu sehen.



Für uns ist es heute fast ein Wunder, daß ein ökonomisches System auf Stadtebene, desen Möglichkeiten ja ziemlich begrenzt waren, einen derartigen Wohlstand entwickeln konnte. Abgesehen von der gemeinsamen Interessenlage der verschiedenen Städte scheint es zweifelhaft, daß diese Städte wirklich befriedigend funktioniert haben. Es muß eine ganze Anzahl wichtiger Versorgungsgüter gegeben haben, die als Folge der ständigen Kriege nicht zur Verfügung standen.

Vielleicht kann uns die ursprüngliche Struktur dieser Stadtstaaten Aufschluß geben. Es ist sicher, daß die ältesten Städte stets unerschöpfliche Vorratsspeicher hatten. In den jüngeren Städten fand man ganze Häuserblocks, die wahrscheinlich ausschließlich der Vorratshaltung dienten. So konnten die Städte dank ihrer überreichen Vorräte an Rohmaterialien die Kriege überleben. Allerdings machten die Narben, die der Krieg hier hinterließ, eine nationale Anbaukultur unmöglich. Viele Gebiete Mesopotamiens, die einst bewohnt waren, sind heute nichts weiter als eine Wüste. Der Unterschied zwischen Mesopotamien und Ägypten ist eklatant; dabei spielt natürlich die Tatsache eine Rolle, daß die Überschwemmungen von Euphrat und Tigris im Vergleich zu denen des Nils viel weniger unter Kontrolle zu halten waren.

Karte von Anatolien mit den wichtigsten historischen Orten.

Wir dürfen somit mit aller Vorsicht die Schlußfolgerung ziehen, daß das regelmäßige Funktionieren so vieler kleiner Gemeinschaften mit einem soliden ökologischen Gleichgewicht ihr Überleben und den Wohlstand der ganzen Gegend über 4000 Jahre hin gewährleistete. Wir haben bereits den Wechsel im Anbau erwähnt und sollten vielleicht noch anführen, daß in Mesopotamien die Dattelpalme, die Feige, der Raps, die Rote Bete, der Spinat und viele Kürbisgewächse wie Melone und Wassermelone zum ersten Mal angebaut wurden.

Ein anderes Kriegervolk

Wie wir wissen, florierten schon zu Beginn des Neolithikums und sogar noch früher große Kulturen in *Anatolien.* Im geschichtlichen Zusammenhang der frühesten Zivilisationen stellen die Abenteuer einer Völkergruppe, die wahrscheinlich aus dem Kaukasus kam und sich in Anatolien niederließ und die bereits hervorragende Kenntnisse in der Metallurgie besaß, einen wichtigen Faktor dar, wenn auch die Zeitspanne ihres Einflusses relativ kurz war. Wir meinen die *Hethiter.*

In *Alaca Hüyük* an der Biegung des Flusses Kızılırmak (Halys), etwa 300 km von Ankara entfernt, wurde eine chalkolithische Nekropole ausgegraben, die auf die Zeit um 2500 v. Chr. datiert wird. Diese „Stadt der Toten" barg viele Gegenstände aus Kupfer (manche von ihnen verziert), andere aus einer Legierung aus Gold und Silber, dem Elektron. Man vermutet, daß die Hethiter ihre ersten Machtkämpfe gegen das Volk führten, das dieser Kultur zuzuordnen ist und das zweifellos ebenfalls aus dem Kaukasus stammte.

Die Macht der Hethiter dehnte sich nach 2000 v. Chr. weiter aus. In der Festungsstadt *Hattusa* (heute *Boğazkale*), nicht weit von Alaca

Rechte Seite: Das Löwentor der antiken hethitischen Hauptstadt Hattusa (heute Boğazkale).

Hüyük entfernt, stand ein mächtiger Palast, dem alle anderen Zitadellen in diesem Gebiet politisch untergeordnet waren.

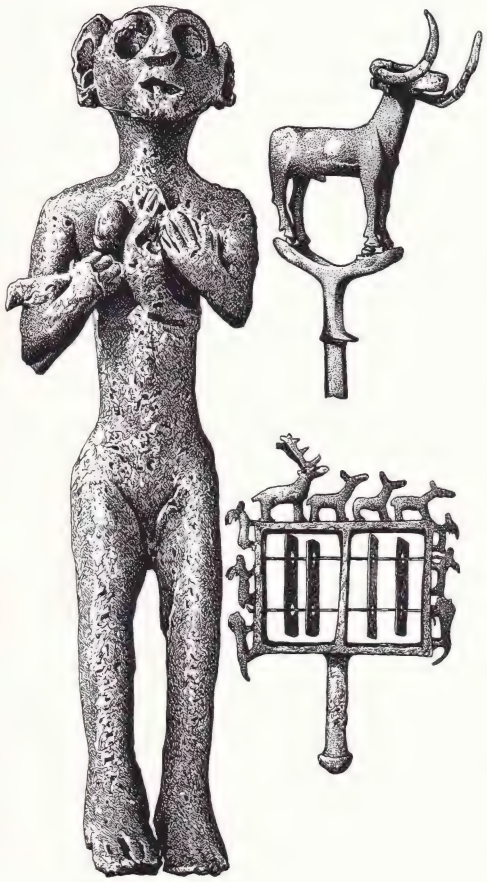
Die Hethiter waren nicht nur in der Eisenverarbeitung überlegen. Sie hatten auch bereits das Pferd domestiziert und wahrscheinlich den leichten Streitwagen „erfunden". Mit solchen Trumpfkarten versuchten sie verständlicherweise alle Nachbargebiete zu erobern. Daraus ergaben sich natürlich ständige Reibereien mit Assyrien und Babylonien. Um etwa 1600 v. Chr. gelang es den Hethitern, Babylon für kurze Zeit zu unterwerfen. Die Beziehungen der Hethiter zu Ägypten waren ebenfalls nicht die besten – bis zum großen Friedensvertrag nach der Schlacht bei Kadesch (von der ja bereits weiter vorn die Rede war).

Vielseitig begabte Handwerker

Seit etwa 1200 v. Chr. gab es bereits kein Hethiterreich mehr, abgesehen von einzelnen Kleinfürstentümern in Syrien, die bis zum 8./7. Jahrhundert v. Chr. überlebten.

Vom heutigen Standpunkt aus betrachtet, lag die große Bedeutung der Hethiter darin, daß ihre bäuerlich strukturierten Gemeinschaften zwar einer Zentralregierung (in Hattusa) unterstanden, aber verwaltungsmäßig autonom waren – wie die Stadtstaaten Mesopotamiens. Ein weiteres interessantes Merkmal ihrer Wirtschaft war die Viehzucht, die mit einer bescheidenen Form des Ackerbaus verbunden war. Eine solche Art von Landwirtschaft eignete sich für die dortigen Umweltbedingungen denkbar gut, da das Land gebirgig und uneben war. Überdies waren die Bauern gleichzeitig hervorragende Schmiede.

Unten: Bronzen aus Alaca Hüyük in Anatolien: Kleinskulptur einer weiblichen Figur; Sistrum (ein altes Rasselinstrument); Kleinskulptur eines Stiers.

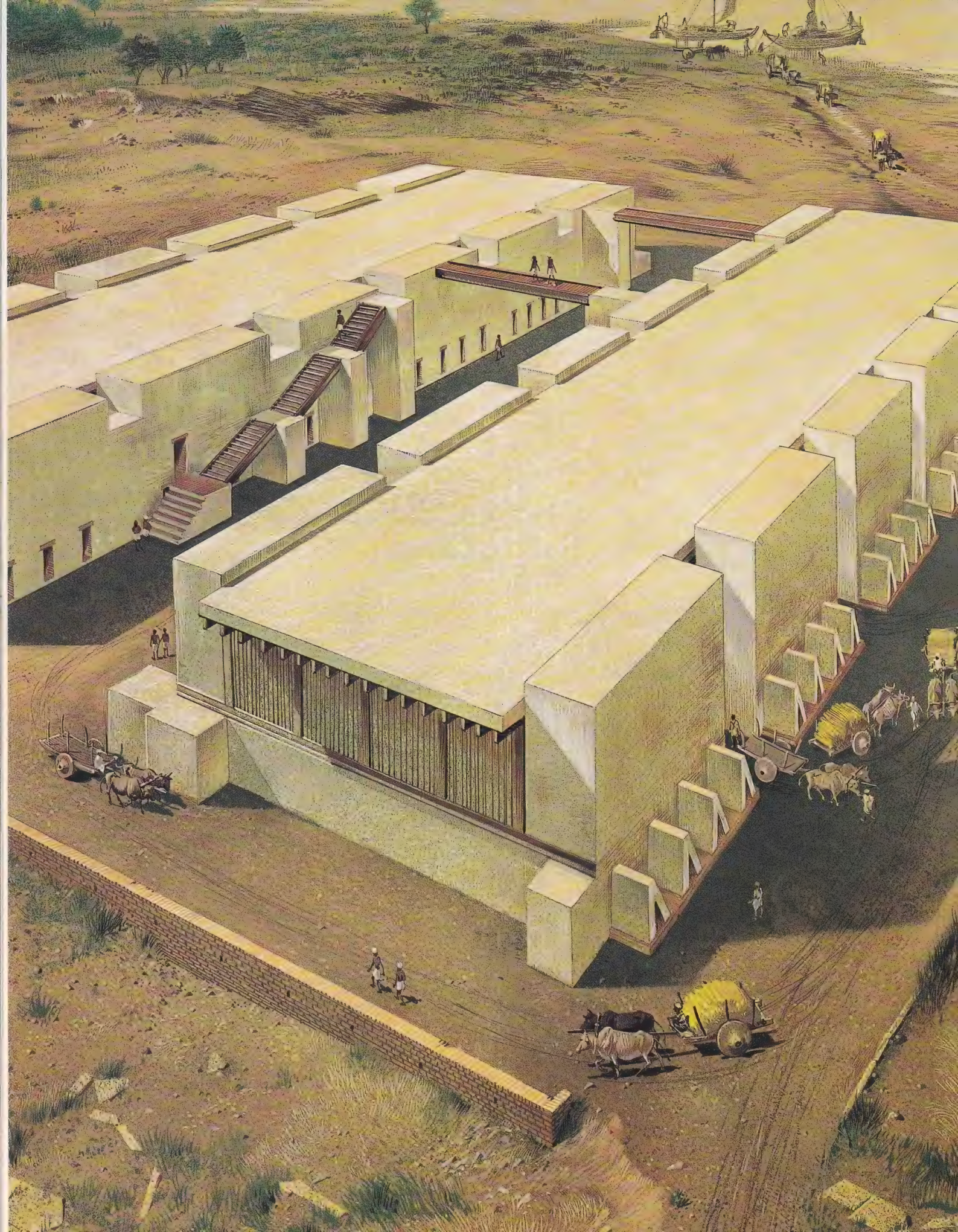


Die hethitischen Siedlungen waren „kompakt": Die Männer waren Bauern, Hirten und Krieger zugleich und schmiedeten ihre Waffen selbst. Der einzelne war jedoch nicht völlig autonom bei der Ausführung seiner Arbeit, da zu Kriegszeiten (und Kriege gab es ja häufig) bestimmte Befehle befolgt werden mußten.

Es gibt noch einen weiteren Aspekt, der dieses Volk so faszinierend und gleichzeitig so beunruhigend macht. Die Hethiter führten in die damalige zivilisierte Welt eine *indogermanische Sprache* ein, die der lateinischen Sprache und dem Sanskrit ähnlich ist. Sie legten diese Sprache auch schriftlich nieder und benutzten dazu eine Art *Keilschrift.* Es ist also gut möglich, daß die Wanderungswelle, die die Hethiter nach Anatolien brachte, lediglich eine der zahlreichen Bewegungen war, die sowohl die Menschen der Steppen als auch mehrere europäische Kulturen beeinflußte.

Diese geschickten Universalkünstler, die zu bestätigen scheinen, daß Vielseitigkeit die größte aller Gaben ist, waren sogar imstande, sich in der Kunst neben den anspruchsvollsten ägyptischen und mesopotamischen Meistern zu behaupten. Die *Sphinxe* von Hattusa und die aus den Felsen gehauenen Friese in *Yazılıkaya* verblüffen durch ihre vollkommene Ausgewogenheit und Erhabenheit. Es handelt sich hierbei um eine Art von Felstempel, der mit einem Quellenkult in Verbindung gebracht wird; in der Bergschlucht dort sprudelt nämlich eine Quelle aus dem Fels hervor.

Dieser Kulturtyp steht in Einklang mit einer Zivilisation, die sich in einer rauhen, strengen Umwelt entwickelte, weit entfernt von jedem Fluß. Daß die Felder der Hethiter überhaupt ertragreich waren, war dem Regen zu verdanken, genau wie in vielen Teilen der heutigen Türkei. Insgesamt scheint die Zivilisation der Hethiter der Umgebung, in der sie ihren Aufschwung erlebte, keinen großen Schaden zugefügt zu haben.



Indus und Hwangho

Die Harappakultur

Für eine andere große Flußkultur, die von 2500 bis 1500 v. Chr. im Industal florierte, lagen die Dinge ganz anders. Wir erwähnten diese Kultur bereits in einem anderen Zusammenhang als Brücke zwischen dem Chalkolithikum und der Bronzezeit. Die Ursprünge ihrer Hauptansiedlungen sind noch unbekannt. Heute nimmt man an, daß Verbindungen zu Orten in Afghanistan oder Belutschistan bestanden und daß es sich dabei hauptsächlich vermutlich um Abwandlungen in der Keramik handelte. Jedenfalls sind die charakteristischen Merkmale der Kultur des Industals, die wir nach einem der Hauptausgrabungsplätze als *Harappakultur* bezeichnen, sonst nirgends zu erkennen.

Von den Menschen, die die Städte der Harappakultur bewohnten, ist uns wenig bekannt. Die Städte waren tatsächlich Städte im vollen Sinne des Wortes – vielleicht die bestgeplanten Städte überhaupt, die die Welt je gesehen hat. Vom menschlichen Standpunkt aus scheinen sie persönlicher, „intimer" als die römischen Städte gewesen zu sein, obwohl sie genau wie diese auch mit einer schachbrettähnlichen geometrischen Regelmäßigkeit angelegt waren.

Die beiden größten Städte, die uns einigermaßen bekannt sind, waren *Harappa* (im heutigen indischen Bundesstaat Punjab) und *Mohendscho Daro* (in der pakistanischen Provinz Sind). Wir wissen nicht, wie diese Städte früher hießen. Zu den Bauwerken in Mohendscho Daro gehörten öffentliche Badehäuser, eine Zitadelle und ein gewaltiger Getreidespeicher. Es gab typische Keramikfiguren und viele Steinwerkzeuge aus Quarzit, ferner längliche Äxte aus Kupfer.

In Harappa bestanden die Getreidespeicher aus vielen einzelnen Unterteilungen, die aber alle miteinander verbunden waren. Das gesamte Gebäude war außerordentlich eindrucksvoll. Die Häuser wurden mit *Ziegeln* gebaut, die aus dem ortsständigen Lehm hergestellt und im Ofen gebrannt wurden. Sie waren bemerkenswert hart. Am Ende des vorigen Jahrhunderts verwendete man viele dieser Ziegel als Ballast beim Bau der Eisenbahn von Karatschi nach Lahore.

Rekonstruktion der Getreidespeicher von Harappa.

Die Gräber wurden in Stadtnähe errichtet. Die Leichname wurden oft zusammen mit Gegenständen aus dem Alltag bestattet. Als obligatori-

Rechts: Karte mit historisch bedeutsamen Orten im Industal.

Unten: Die Ruinen von Mohendscho Daro. Noch heute bewundern wir die grandiose Anlage dieser Stadt mit ihren geräumigen Straßen, ihren Bädern, ihrem Kanalisationssystem, ihren Lagerräumen und Getreidespeichern.

sche Grabbeigaben galten die berühmten Siegel aus Steatit, die Abbildungen von Fabeltieren und (bis heute noch nicht entzifferte) Bildschriftzeichen tragen. Eines der gefundenen Siegel stellt eine menschliche Gestalt mit vielen Armen dar, anscheinend ein Prototyp des Gottes Schiwa. Bei den Gräbern gibt es keine Unterschiede zwischen Armen und Reichen. Auch sind es keine Gräber von Königen oder Standespersonen. Sie enthielten eine Vielzahl von kleinen Tonfiguren.

Die Harappakultur entwickelte sich in einem Gebiet, das der Mensch dem Dschungel entrissen hatte. Weitere Zentren dieser Kultur waren *Kot Diji,* wo luftgetrocknete Ziegelsteine verwendet wurden, und *Lothal.* Tafeln aus gebranntem Lehm wurden dort, wie man heute annimmt, zur Körperpflege benutzt, etwa wie harte Schwämme.

Die Menschen in Mohendscho Daro und Harappa verbrannten Unmengen Holz, um Ziegel und massenweise Tongegenstände brennen zu können. Dabei wurde der Dschungel abgeholzt und gerodet, zugleich aber wurde das Land der Versteppung preisgegeben.

Die Städte verfielen ziemlich schnell, wahrscheinlich weil die Ernten mit der zunehmenden Bodenerschöpfung immer weniger ertragreich wurden. Außerdem gab es Angriffe von seiten feindlicher Nachbarn – wenigstens, was Mohendscho Daro betrifft, wo viele Skelette von Menschen gefunden wurden, die alle massakriert worden waren. Nach der Plünderung und Zerstörung wurde die Stadt von einer Überschwemmung heimgesucht und ertrank geradezu in einer Sintflut.

Männliche Steinplastik aus Mohendscho Daro von einer fast klassischen Schönheit.

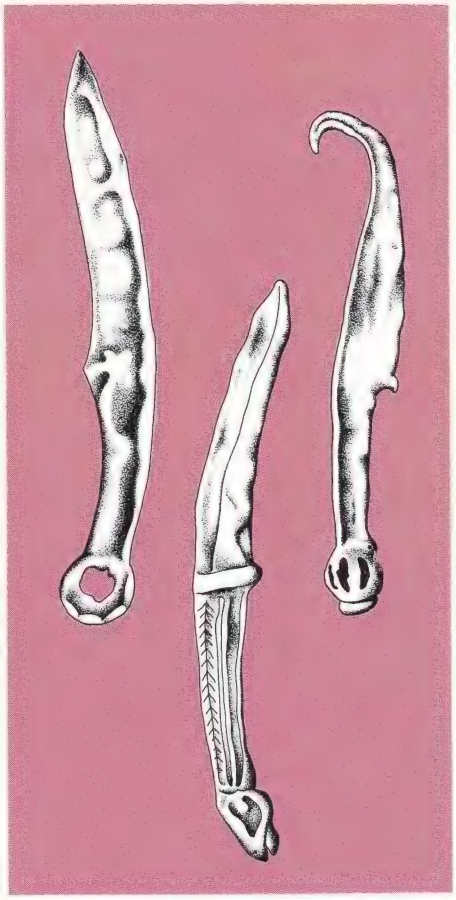
Ein hoher Preis

Diese Städte zeigen als konkrete Beispiele, welche Folgen ein übergroßer Druck auf die natürliche Ordnung der Dinge haben kann. Im Industal wurde die Entwaldung durch Abbrennen in der schlimmstmöglichen Weise durchgeführt. Der Fluß forderte seinen Preis für die arge Zerstörung der Umwelt und warf die prachtvollen Gebäude mit seinen Fluten nieder. Hätte man jedoch den Dschungel abschnittsweise und mit naturbelassenen Zwischenstücken gerodet, wäre die Auswirkung sicher weniger dramatisch gewesen. Die Bevölkerung hätte ohne jedes Risiko den fruchtbaren Boden und das Holz für seine Öfen nutzen können.

Die städtische Struktur der beiden größeren Orte läßt uns vermuten, daß sie ähnlich wie die mesopotamischen Stadtstaaten organisiert waren. Wahrscheinlich genügten die immensen Vorräte in den Getreidespeichern, die Gemeinschaft für eine lange Zeit vor Hungersnot zu bewahren. Die Verbindung mit den Flußzyklen scheint weniger eng gewesen zu sein als in Ägypten. Das Land war nicht besonders fruchtbar, aber mit seinem Überfluß an Lehm war es reich an organischen Abfallstoffen. Die Methode des Abholzens und Abbrennens des Dschungels muß den Einwohnern ideal erschienen sein. Der Bedarf an Ziegeln war so groß, daß es der Bevölkerung schließlich nicht mehr genügte, hier und da einige Waldstücke abzubrennen. Man entwaldete vielmehr großflächig weite Dschungelgebiete.

Die Harappakultur unterhielt Beziehungen zu den Kulturen des Nahen Ostens. Wir haben bereits darauf hingewiesen, daß der Hafen von

Unten links: Chinesische Bronzemesser aus der auf die Shangdynastie folgenden Periode.



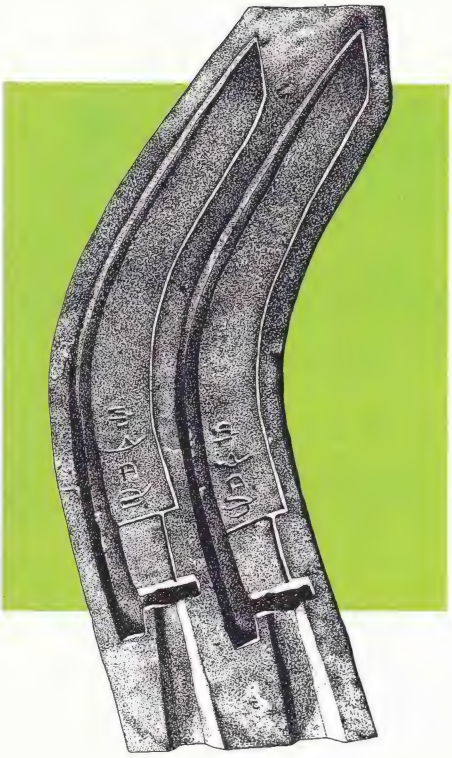
Bahrain im persischen Golf als zentraler Umschlagsplatz diente. Früher nahm man an, daß es kulturelle Verbindungen zwischen dem Indus und China gegeben habe. Heute ist man in dieser Hinsicht zurückhaltender. Eine vergleichende Analyse der Keramik beider Kulturbereiche erwies sich als problematisch. Niemand ist heute bereit, für diese Probleme eine „Lösung um jeden Preis" anzugeben.

Im Industal wurde erstmals *Reis* angebaut; dafür gibt es reichliche Belege aus Lothal. Auch *Baumwolle* wurde extensiv angebaut; die Baumwollfasern wurden zweifellos exportiert. Vielleicht gab es auch Zitrushaine, besonders mit Zitronen. Schließlich sei festgestellt, daß in dieser Gegend vermutlich der Indische Elefant domestiziert wurde.

Unberechtigter Ruhm

Traditionsgemäß glaubte man bis vor einigen Jahrzehnten, daß sich die ältesten Schriftkulturen der Erde in *China* entwickelt hätten. Heute wissen wir mehr. Es darf unterdessen als gesichert gelten, daß in Mesopotamien und Ägypten die tatsächliche Wiege einer sich der Schrift als Kommunikationsmittel bedienenden städtischen Lebensweise stand. Aber den Ruhm eines „Fabellandes" genießt China immer noch, nicht zuletzt wohl wegen der unendlichen Weite dieses Landes und der praktischen Schwierigkeiten, die im letzten Krieg jahrelang bedeutende Ausgrabungen verhinderten. Die Situation hat sich jetzt beträchtlich geändert: Immerhin zeigen die wenigen Daten, die wir aus abgeschlos-

Wie der Gelbe Fluß (Hwangho) war auch der Blaue Fluß (Jangtsekiang) immer ein geeignetes „Vehikel" für die kulturelle Expansion.



senen Ausgrabungen gewonnen haben, daß es auch hier eine Reihe typischer Merkmale der großen Flußkulturen gibt.

Die chinesische Zivilisation hatte ihren Ursprung in der großen Ebene an der Biegung des *Gelben Flusses (Hwangho)* zwischen dem Bergland von Kansu und Schensi sowie dem Ordosplateau; dort florierte eine große paläolithische Kultur. Die ganze Gegend ist bedeckt mit Lößablagerungen. Man kann sich keine idealere Gegend für eine Bodenbebauung vorstellen. In der Tat gab es hier, wie wir bereits wissen, eine blühende neolithische Kultur, die *Yangshaokultur.*

Elemente einer Zivilisation, die möglicherweise mit der Shangdynastie verbunden war, finden sich am Übergang vom (unsicheren) Chalkolithikum zur Bronzezeit. Dabei ist die Chronologie der chinesischen Tradition ganz und gar nicht geeignet, Licht in die Zusammenhänge zu bringen: Die Daten, die sich auf die ersten beiden Dynastien beziehen (und teilweise für die Legende vom angeblich hohen Alter dieser Kultur verantwortlich sind), sind reine Phantasie.

Ausgerechnet bei der Shangdynastie gewinnen wir jedoch festeren Boden; denn unsere Befunde sind durch Ausgrabungen abgesichert. Die *Shangdynastie* steht uns zeitlich gar nicht mehr so fern; sie wird auf die Zeit um 1500 v. Chr. datiert. Die königlichen Gräber von *Anyang,* das eine Zeitlang Hauptstadt war, sind gut erforscht. Neben den Skeletten des Königs und der Königin finden sich zahlreiche Skelette von Dienern – genau wie in Ur. In einem Teil des Grabes sind auch Pferdeskelette aufgehäuft. – Die Gräber der *Choudynastie* (um 1000 v. Chr.) enthielten fein ausgearbeitete Streitwagen und Gegenstände aus Bronze.

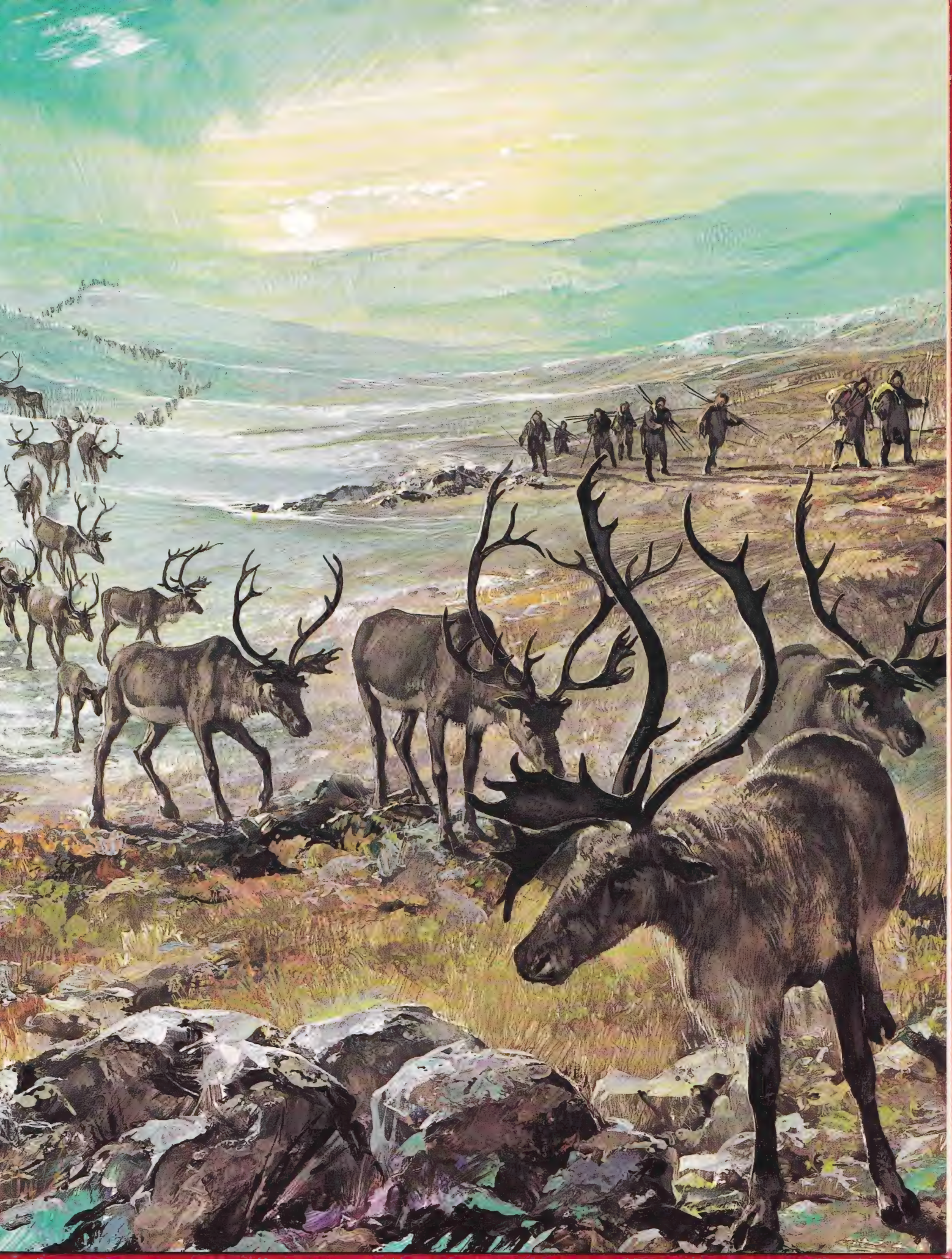
Und doch ein Fabelland

Die berühmten beschrifteten „Orakelknochen", die ähnlich wie die Zähne des Gigantopithecus zu Beginn unseres Jahrhunderts als Medizin gegen jedes nur denkbare Übel in den Läden von Peking verkauft wurden, gehören in die Zeit dieser Dynastien oder vielleicht sogar einer älteren. Sie sind von größter Bedeutung, weil wir durch sie die Entwicklung vieler Ideogramme der klassischen *chinesischen Schrift* rekonstruieren können. Ausgehend von einem eindeutigen Bildzeichen, wurden sie dann in zunehmend stilisierter Form verändert, bis sie die noch heute gebräuchliche Gestalt erlangten.

Welche Schlüsse können wir aus der Beziehung zwischen Mensch und Natur unter diesen so besonders günstigen Umständen ziehen? Da die Bodenbebauung relativ leicht war, kam es nicht zu einem groben Eingriff in die natürliche Ordnung der Dinge. Die Fruchtbarkeit des Bodens erlaubte es, den Anbau einer unbegrenzten Anzahl wildwachsender Pflanzenarten zu erproben: So wurden Hafer, Hirse, Soja und Nüsse, Tee und der Orangenbaum von den Bauern des Hwangho bereits vor Urzeiten kultiviert, ebenso wie mehrere in Europa unbekannte Hagebuttenarten. Auch die Kirsche scheint erstmals in China gezüchtet worden zu sein. Unter den Tieren wurden der Schwan, die Gans und (wirklich außergewöhnlich) die Seidenraupe domestiziert. Aber auch hierüber besitzen wir nur wenige verfügbare Daten. Die Erfindung der *Seide* wird einer mythischen Königin zugeschrieben. Sehr wahrscheinlich wurde aber die Seidenraupe bereits um 3000 v. Chr. in größerem Stil gezüchtet, wie auch der Maulbeerbaum zum erstenmal in China angebaut wurde.

Oben: Diese chinesischen Gußformen aus dem 5. Jahrhundert v. Chr. (aus Hopeh) zeigen, wie geschickt man mit Eisen umzugehen verstand.

Rechte Seite: Wanderbewegungen von Tieren haben vielleicht menschliche Wanderungen ausgelöst. Hier eine Herde von Rentieren in den verlassenen Gebieten des hohen Nordens, wo sich die Alte und die Neue Welt berühren.



Bibliographie

Anati, E.: La civilisation du Val Camonica, Paris 1960
Anati, E.: Palestine before the Hebrews, engl. Übers., New York 1963
Bandi, H.-G., u.a.: Die Steinzeit, Baden-Baden [3]1964
Barocas, C.: Egypt, engl. Übers., New York 1972
Bernabò-Brea, L.: Sicily before the Greeks, engl. Übers., New York 1958
Bibby, G.: The testimony of the spade, London 1957
Bibby, G.: Four thousand years ago, New York 1961
Bordes, F.: La paléolithique dans le monde, Paris 1968
Bosch y Gimpera, P.: L'Amérique avant Christophe Colombe, frz. Übers., Paris 1967
Bottéro, J.: La religion babylonienne, Paris 1952
Bray, W./Trump, D.: Lexikon der Archäologie, dt. Übers., München 1973
Celoria, F.: Archäologie, dt. Übers., Stuttgart und Zürich 1972
Ceram, C. W.: Der erste Amerikaner, Reinbek 1972
Chadwick, J.: Linear B. Die Entzifferung der mykenischen Schrift, dt. Übers., Göttingen 1959
Childe V. Gordon: Vorgeschichte der europ. Kultur, dt. Übers., Hamburg 1960
Childe V. Gordon: What happened in history, Baltimore, Neuaufl. 1964
Clark, J. G. D.: Prehistoric Europe, Stanford 1952
Day, M. H.: Urmenschen, dt. Übers., Ravensburg 1975
Ebers, E.: Vom großen Eiszeitalter, Berlin 1957
Evans, J. D.: Prehistoric antiquities of the Maltese Islands, New York, Neuausgabe 1971
Fairservis, W.: The origin of oriental civilization, New York 1959
Frankfort, H.: Birth of civilization in the Near East, Bloomington 1951, Nachdruck Scranton 1968
Furon, R.: Manuel de préhistoire général, Paris [5]1966
Graziosi, P.: Paleolithic art, engl. Übers., New York 1960
Gurney, O. R.: The Hittites, New York 1961
Hyams, E.: Animals in the service of man; plants in the service of man, zwei Bände, Philadelphia 1972
Kühn, H.: Auf den Spuren des Eiszeitmenschen, Wiesbaden [3]1956
Kurtén, B.: Nicht von den Affen, dt. Übers., Berlin 1973
Laroche, L.: L'art de Sumer, Lausanne 1971
Leroi-Gourhan, A.: Les hommes de la préhistoire, Paris 1955
Lilliu, G.: La civiltà dei Sardi. Dal Neolitico all'età dei nuraghi, Turin 1963
Mansuelli, G. A./Scarani, R.: L'Emilia prima dei Romani, Mailand 1961
Matz, F.: Kreta und frühes Griechenland, Baden-Baden [3]1965
Mireaux, E.: Vie quotidienne aux temps d'Homère, Paris 1954
Moscati, S.: Unbekanntes Italien, dt. Übers., Bonn 1974
Moscati, S.: Die altsemit. Kulturen, dt. Übers., Stuttgart [3]1961
Parrot, A.: Entdeckung begrabener Welten, dt. Übers., Zollikon 1954
Pfeiffer, J. E.: Emergence of man, Scranton [2]1972
Piggott, St.: Dawn of civilization, New York 1961
Piggott, St.: Prehistoric India to 1000 B. C., New York 1962
Radmilli, A. R.: Piccola guida della preistoria italiana, Florenz [2]1965
Schliemann, H.: Kein Troja ohne Homer, hg. v. W. Schmied, Nürnberg 1960
Ucko, P. J./Rosenfeld, A.: Felsbildkunst im Paläolithikum, dt. Übers., München 1967
Watson, W.: China before the Han dynasty, New York 1962
Wheeler, M.: The Indus civilization, London [3]1968
Woolley, L.: Art of the Middle East, New York 1961
Woolley, L.: Ur in Chaldäa, dt. Übers., Wiesbaden [2]1957

Bildquellennachweis

BILDTAFELN UND ZEICHNUNGEN

Alain, © 1955 The New Yorker Magazine Inc.: 148; Arvati, Verona: 29 (rechts), 45, 62, 66 (rechts), 76, 78, 82, 86, 120; Cattaneo, Bergamo: 26/27, 64/65, 69, 74/75, 81, 101, 131, 160/161, 236/237, 246/247, 259; Colombi, Brescia: 77, 118, 132, 166/167, 181, 218; Corbella, Mailand: 18, 24, 42, 43, 48, 53 (rechts), 57, 58 (links), 60, 108, 126, 127, 205 (oben), 216, 217, 222; Cozzaglio, Brescia: 38, 39, 70/71, 144, 187, 213, 250; Curiel, Verona: 159; Faganello, Mailand: 185; Fedini, Mailand: 11, 12/13, 90/91, 106/107, 114/115, 122/123, 142/143, 242/243; Ghiringhelli, Mailand: 21, 80, 83, 89, 102, 103, 104, 124, 129, 134, 136, 154, 158, 164, 171, 177, 178, 184, 197, 199, 209 (rechts), 210, 211, 220, 231, 247 (rechts), 249, 256, 258; Minelli, Brescia: 248 (oben); Renna, Mailand: 35, 50/51; Morati, Verona: 254 (oben); Sergio, Mailand: 4, 10, 14/15, 25, 31, 32, 36/37, 46, 52/53, 93, 94, 105, 111, 121, 137, 138/139, 140, 146/147, 152, 157, 175, 191, 193, 194, 202/203, 215, 252.

FOTOGRAFIEN

François Bordes: 44; Britisches Museum, London/Aldo Ballo: 155 (oben); Britisches Museum, London/John Freemann: 88 (links); Caisse Nationale des Monuments Historiques, Paris: 61, 62/63; Carrese/Fotogram: 19; Carrese/Magnum, Mailand: 30, 224, 235, 256/257; Cirani, Mailand: 23; Fiore, Turin: 135, 145, 163, 169, 180, 191, 195, 223, 229, 234, 248 (unten); Frezzato, Bergamo: 98, 100; Garavoglia, Mailand: 68, 79; Held, Lausanne: 238 (rechts); Kodanscha, Tokio: 179, 225, 238 (links), 241, 244, 255; Marka/Alpha, Mailand: 49 (rechts), 55 (unten links), 56; Marka/Bevilacqua: 174, 226/227, 228; Marka/Mauri: 87; Marka/Tomsich: 95 (unten); Micek, Innsbruck: 6/7, 67, 200, 201, 230; Mondadori, Mailand: 96 (links), 117, 168, 233; Mondadori/Caisse Nationale des Monuments Historiques: 91 (rechts); Mondadori/De Biasi, Mailand: 204, 232; Mondadori/Lotti: 41, 59 (oben rechts), 96 (rechts); Motto, Mailand: 8 (oben), 20, 30, 34, 49 (links), 95 (oben), 99, 162 (links); Musée de l'Homme, Paris: 55 (oben links), 58 (rechts), 59 (links oben und unten); Museum of Fine Arts, Boston: 8 (unten); Paris Match, Paris: 149; Pictor, Mailand: 72, 84, 88 (rechts), 113, 153 (unten), 155 (unten), 162 (rechts), 172, 182, 198, 205 (unten), 208, 212, 220/221, 251; Pucciarelli, Rom: 55 (oben Bildmitte), 206/207; Ricciarini/Bevilacqua, Mailand: 74 (links), 150, 153 (oben), 156, 165, 170, 173, 176, 196; Ricciarini/Borromeo, Mailand: 254 (unten); Ricciarini/Cirani, Mailand: 28/29, 55 (rechts), 186, 240; Ricciarini/Mandel: 116; Ricciarini/Robba, Mailand: 189, 209 (links); Ricciarini/Tomsich, Mailand: 141, 188, 245.

Register

Kursive Seitenzahlen beziehen sich auf Abbildungen oder auf Text und Abbildungen

Abbeville 21
Abbevillien 21 f.
Abri du Cap Blanc 57
Abschläge 23 f., *25, 31 f.*
Abschlagtechnik *24*
Abu Schahrain 239
Abu Simbel *232*
Achet-Aton 232
Acheuléen 20
Ackerbau 85, 88, 126 ff.
Ackerbau-Viehzucht-Gemeinschaft *160/161*
Addaurahöhle 65
Ägypten 99 f., 219 ff.
ägyptische Priester *174*
ägyptisches Jahr 228
Ahrensburg *80*
Ahrensburger Kulturgruppe 79
Akkad 244 f.
Alaca Hüyük 249
Al Amra 151
Al Badari 151
Al Faijum 99 f., 222, 230
Alignements 112
Almería 100
Almeríakultur *103*
Altamira 58
Altsteinzeit s. Paläolithikum
Amarna 232
Ammon (Amon) s. Amun
Amratian 151, *152*
Amun (Amon, Ammon) 230
Amunkult 232
Anatolien 249 ff.
Anau 115, 156
Angarakultur 45
Anyang 258
Anyathian 22
apenninische Kultur 208
Arcy-sur-Cure 68
Asch Scharkat 244
Assur 244
Assurbanipal 246
Assurnasirpal 246
Assyrien 246
Atérien 45
Aton 232
Aunjetitzer Kultur 158, 206, *209*
Aurignacien 48, 54
Australopithecus 18
Avebury 162, *163*
Ayampitin 69
Ayampitinkultur 78
Azilien 78
Azurit 140

Babylon 247, *248*
Babylonien 247
Badarian 151, *152*
Bahrain 248
Bärenkult 40
Baumwolle 257
Bienen 179, 235
Bifaziale (Doppelseiter) *20*, 22
Bilderschrift *144*
Bilharziose 128, 235
Blitzsteine 9
Boğazkale s. Hattusa
Borges, L. 5
Boucher de Perthes, J. 9
Boynekultur 161
Brassempouy 54
Bronze 141, 168, 183 ff.
Bronzekamm *187*
Bronzestatuetten *188*
Bronzeurne *216*
Bronzezeit 10, 187, 196
Brunnenkult *191*
Bulldogge 124
Buntbarsch *136*
Buschmänner 85

Camp-de-Chassey 102 f.
Capsien 45, 100
Cardiumkeramik 100
Carnac 112, *113*
Castellucciokultur 199, *205*
Catal Hüyük 97 ff., *104*
Chalkolithikum (Eneolithikum, Kupfersteinzeit) 142 ff., 150
Chalkopyrit 140
Chasseykultur *103*
Châtelperron 48
Châtelperronien 48
Cheopspyramide 225, *226/227*
Chephrenpyramide 225, *226/227*
China 257 ff.
chinesische Schrift 258
Chirokitia *90 f.*
Chopper s. Hauwerkzeuge
Chopping tools s. Hauwerkzeuge
Choudynastie 258
Choukoutien 22
Clactonien 30
Clacton on Sea 30
Clovis 68
C-14-Methode 162
Cochisekultur 76
Cody 76
Cortaillod 102
Cortaillodkultur *103*
Cortex 20 f.
Cromagnonkultur 47
Cromagnonmensch (Homo sapiens fossilis) 17, 47

Danilo 102
Dart-Hominiden 18
Desert Culture s. Wüstenkultur

Dinkel 86
Djoser 224 f.
Dolmen 112
Dolni Věstonice 54
Domestikation 68, 120 ff.
Domestikationszentren *124*
Donaukultur 103, *105*
Doppelseiter s. Bifaziale
Drehscheibe 94
Dreiperiodensystem 12
Dschomonkultur 75, 116 f.
Dynastien 222

Echnaton 232
Einkorn 86
Eisen 183 ff., 209 ff.
Eisenmetallurgie 211
Eisenzeit 10, 211
Eisernes Tor 108
Elam 158
El Castillo 58
Emmer 86
Eneolithikum s. Chalkolithikum
Energieverbrauch *134,* 196
Enyan 81
Erdbestattung 189
Eridu 239
Ertebølle 79, *80*
Erteböllekultur 80
Euphrat *240*

Faijumkultur 100
Fauresmithkultur 45
Faustkeil *8, 20 f.,* 22 f., *24, 34, 42*
Fell-Höhle 69
Felszeichnung *190*
Feuersteinwerkzeuge 20
Flachs 235
Fléchette *49*
Flint 30 f.
Flußregulierung 172, 221
Folsomspitzen 68
Fruchtbarer Halbmond 80, 84, 114
Fruchtbarkeitskult 192

Gaudokultur 160
Gaufürsten 227, 229
Gelber Fluß s. Hwangho
Glockenbecher 160
Golaseccakultur 213
Gold 141
Gottkönig 221, 224 f.
Gravettien 54
Gudea 245

Hacılar 86, *89,* 156
Hagar-Qim-Tempel *208*
Hallstatt 214
Hallstattkultur *213,* 214 ff.
Halys s. Kızılırmak
Hämatit *141*
Hämmern *140*
Hammurapi 247
Handwerker 174, 177
Harappa *252*
Harappakultur 115, 253 ff.
Harpune *82*
Hattusa (Boğazkale) 249, *251*
Haustiere *171*
Hauwerkzeuge (Chopper, Chopping tools) *18,* 21
Heluankultur 83
Hethiter 210 f., 232, 249 f.
Hexenzungen 9
Hilwan 83
Himmelsbeobachtung 180
Hirschjagd *170*
Hisarlık s. Troja
Höhlenbär *38*
Homer 199
Hominiden 18
Homo erectus pekinensis s. Pekingmensch
Homo habilis *26/27*
Homo sapiens 6, 17
– – fossilis s. Cromagnonmensch
Horus *228*
Hügelgräber 112, 206
Hülsenfrüchte 235
Hwangho (Gelber Fluß) 115, 258
Hyksos 231

Ilias 199
Indus 253 ff.
Insektenstaat 178
Iraklion *205*

Jacobs-Höhle 69
Jagd *39*
Jäger und Sammler 15
Jarmo 86, 89
Jericho 83, *84,* 86, *88 ff.*
Jungsteinzeit s. Neolithikum

Kadesch, Schlacht von *233*
Kalach (Nimrud) *153*
Kalahari 85
Kannibalismus 40
Karren 196
Kassiterit (Zinnstein) 184
Katze 235
Keilschrift *145,* 241 f., 250
Khandwilikultur 115
Kisapostag 212
Kisch 239
Kızılırmak (Halys) 249
Kjökkenmöddinger s. Kökkenmöddinger
Knochenbohrer *48*
Knochenharpune *46*
Knochen-Zahn-Horn-Kultur (osteodontokeratische Kultur, Osteodontokeratikkultur) 48
Knossos 199, *200*
Kökkenmöddinger (Kjökkenmöddinger) 79, *81*
Kommandostäbe s. Lochstäbe
Köröskultur *105*
Kosziderkultur 206, *209*
Kot Diji 255
Kreta 197 f.
Kupfer *141,* 151 ff., 183
Kupferaxt *162*

Kupfermine *186*
Kupfersteinzeit s. Chalkolithikum
Kuprit 140

La Ferrassie 44
Lagasch 245
Lagozza di Besnate 102
Lagozzakultur *103*
La Madeleine 58
La Quina 44
Lascaux 57 f., *61, 62, 62/63,* 78
La Tène 216
La-Tène-Kultur 216 f., *217*
Laussel 54
Lehm 92, 140
Leichenverbrennung 211
Le Mas d'Azil 61, 78, *80*
Lepenski-Vir 108 f., *110 f.*
Le Roc de Sers 57
Leroi-Gourhan, A. 17, 60
Les Combarelles 58
Les-Eyzies-de-Tayac-Sireouil 30, 57
Lespugue 54
Levalloisien 31
Levallois-Perret 31
Linearbandkeramik 104, *105*
Lochstäbe (Kommandostäbe) 58
Lorbeerblattspitze *57*
Los Millares 159 f.
Lothal 255
Löwentor *251*
Luppe 209

Magdalénien 58
Magie *50/51,* 238
Malachit 140
Malia 199
Malta 204
Manetho 222
Mastaba 224
Megalithen 109 ff.
Menes 223
Menhire 112, *113,* 162
Mesolithikum 75
Mesopotamien *164,* 239 ff.
Metallurgie *185,* 248
Mikrolithen *46,* 73, 79, 81, 84, *102,* 109
Minoer *202/203*
minoische Kultur 197 f.
Mohendscho Daro 253, *254,* 255
Monte-Circeo-Schädel *40*
Moustérien 33, 42
Moustérienwerkzeuge *42 f.*
Mumie 226
Mumifizierung 226
Muwatalli 232
Mykene 200
mykenische Kultur 200
Mykerinospyramide 225, *226/227*

Naramsin *244*
Narmer *222,* 223
Natufian 80
Neandertaler 33, *39*
Nebukadnezar 247
Nekropole 213
Neolithikum (Jungsteinzeit) 12, 75, 85 ff.
neolithische Revolution 12 ff., 98, 119 ff.
Ngandongkultur 45
Nil 219 ff., *220/221*
Nimrud s. Kalach
Nomaden *135, 147*
Nuraghen 204 f., *209*
Nyukultur 45

Oberägypten 219
Ocker 44, 57, 61, 92
Ofnethöhlen *78, 80*
Olduwaikultur (Oldowan) 20
Ölpflanze 235
Orakelknochen 258
Ordoskultur 68, 115
Osiris 219
osteodontokeratische Kultur s. Knochen-Zahn-Horn-Kultur

Pachacamac *180*
Pair-non-Pair 56
Paläolithikum (Altsteinzeit) 12, 18
Palmarito 78
Patjitan 22
Pavlov 54
Pavlovien 54
Pekingmensch (Homo erectus pekinensis) 21
Pepi II. (Phiops II.) 229
Perkussionsball 24
Perkussionsstelle 24
Perkussor 23
Peyzac-le-Moustier 33
Pfahlbauten 104 f., *132,* 207, 213
Pferd 235
Pflug 196, *197*
Phaistos 199, *201*
Pharao 221
Pharaonenkrone *222*
Phiops II. s. Pepi II.
Plainview 76
Poladakultur 207
Pollen *196*
Priester 130, 177, 179 f.
Prignac-et-Marcamps 56
Psammetich II. 234
Pschent 222
Puerto Hormiga 117
Pyramide 224

Rad *162,* 195
Ramses II. *230,* 232
Ras Schamra 86, 89, 154
Regourdou 44
Remedellokultur 161
Rinaldonekultur 160, 214
Rind 170 f.
Ripoli di Corropoli 102
Ripolikultur *99*
rituelle Opfer 40
Rollsiegel 241

Saint-Acheul 20
Sakkara 224

Salz 214 ff.
Salzmine *215*
Samarra 158, *158*
Sambaquis 78
Sandia 68
Sangoankultur 45
Santorin 199, *204*
Sargon I. 244
Sasso-Fiorano-Kultur *95*
Sauveterrien 79
Sauveterre-la-Lémance 79
Savignano Sul Panaro 54
Schaber 33, *34 f., 42, 48, 57*
Schanidar *23,* 84
Schan Koba *80*
Schan-Koba-Kultur 79
Schlickerverzierung 109
Schliemann, H. 199
Schneidkante *24*
Schrift 143 ff., 187
Scottsbluffspitzen 76
Seine-Oise-Marne-Kultur 161
Seth 219
Shangdynastie 258
Sichel *82, 168*
Silber 141
Silbury-Hill 162
Sintflut *173*
Soankultur 22, 115
Solutréen 56 f.
Sonne 188
Sothisperiode 228
Sphinx 250
Spitzen 33, *42, 57*
Standarte von Ur *241*
Star Carr *80*
Starčevo-Körös-Kultur 103 f.
Starčevokultur *105,* 109
Steinzeit 10, 12, 15
Stonehenge 112, *114/115,* 162, 201, *206/207*
Stratigraphie 9
Stufenpyramide *223,* 224
Sulphur Springs 78
Sumerer 239
sumerische Kunst *176*
Susa *156*
Sympathiezauber 53, 64, 188

Tall s. Tell
Tall Al Ubaid *153,* 154
Tall Al Uhaimir 239
Tall Brak *177*
Tall Halaf *154 f.*
Tamaulipas 117
Tappa s. Tepe
Tappa Gaura *154*
Tappe s. Tepe
Tappe Hesar 115, *158*
Tappe Sialk 115, 156
Tardenoisien 79
Tayacien 30
Tell (Tall) 152
Tepe (Tappe, Tappa) 152
Tequixquiac 72
Ternifinemensch 20
Terrakotta 98, *195, 248*
Terramarenkultur 208
Thapsoskultur 199
Theben 230
Theißkultur 159
This (Thinis) 223
Thomsen, Ch. 10, 187
Thutmosis III. *225, 238*
Tiglatpileser 246
Todesbrunnen von Ur 241
Töpferei 92 ff., *94,* 97 ff., 151, 156
Totenbestattung 88 f., 189
Totenkult 40 f., *44*
Tournette *94*
Trichterbecher *108*
Tripolje 159
Troja (Hisarlık) 199
Tule Springs 68
Tutenchamun *238*

Únětice 158, 206
Unterägypten 219
Ur *155,* 239
Urnammu 246
Urnansche *150*
Urnenfelderkulturen *211,* 212
Uruk 156, *157*

Valdivia 117
Vasi-a-bocca-quadrata-Keramik 104
Venusfiguren *55*
Villanovakultur *212,* 213
Vorgeschichte 9
vorgeschichtliche Zeittafel *16*
Votivaxt *179*

Wadi 165, 188
Wadi An Natuf 80
Waldalgesheim 216
Waldbrandwirtschaft *182,* 194
Wandmalerei *50/51, 53, 59, 67, 72*
Weidenblattspitze *57*
Weinrebe 235
Weizen 86
Wessex 206
Willendorf 54
Wiltshire 105
Windmill-Hill 112
Windmill-Hill-Kultur 105, *108*
Wisent 33
Woolley 241
Wüstenkultur (Desert Culture) 76

Yangshaokultur 115, *116,* 258
Yazılıkaya 250

Ziegel 253
Zikkurat *242/243*
Zinn 183
Zinnbergwerke 184
Zinnstein s. Kassiterit
Złota 159
Zwergweizen 86
Zwiebel 235
Zypern 90 f.

Die Geheimnisse der Urzeit

Band 1:
Der Ursprung des Lebens

Band 2:
Das Leben im Meer

Band 3:
Amphibien und Riesensaurier

Band 4:
Säugetiere und Urmenschen

Band 5:
Die Morgendämmerung der Kultur